

SPECIAL BIM 2. LE PROJET NATIONAL MINⁿD. CYCLE DE VIE DES CHAUSSEES. GESTION DES DEBLAIS. « EXCELLENCES TP » : COMMENT FORMER AU BIM. INFRASTRUCTURES LINEAIRES. GRAND PARIS EXPRESS : GESTION DES INTERFACES BIM INFRA. BIM ET COBie SUR LE « GARDEN BRIDGE ». CONTOURNEMENT DE LANGEAIS. ARIANE 6. ROCADE L2 A MARSEILLE. HALLE FREYSSINET. « BIM-TO-SITE » : PROJET ARCHADE CENTRE CYCLHAD A CAEN. ARMATURES 3D A LONGCHAMP. TOUR TRINITY. LAM TIN TUNNEL A HONG KONG

N°934 JUILLET / AOÛT 2017



MINⁿD

SMA



**Ensemble,
allons plus loin !**

L'assureur de toutes les entreprises,
des professionnels, des dirigeants,
de leurs salariés et de leurs proches.

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur groupe-sma.fr




SMABTP
SMA TRAVAILLE AVEC ASSURANCE

SMA **VIE**

SMA
ASSURANCES

SMA
COURTAGE

SMA **VIE**
COURTAGE

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

Sami Bounatirou (Bouygues tp), Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fntp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fntp), Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar (Eiffage tp), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro**Rédaction**

Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente

Com et Com

Service Abonnement 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

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

2, chemin dit du Pressoir

Le Plessis

28350 Dampierre-sur-Avre

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).

Éditions Science et Industrie SAS

9, rue de Berri - 75008 Paris

Commission paritaire n°0218 T 80259

ISSN 0041-1906

LE BIM DANS L'ESPACE !



Secteur en pleine mutation et en plein essor, l'accès à l'espace en Europe devient de plus en plus concurrentiel. De nouvelles initiatives publiques ou privées fleurissent tous les ans dans tous les pays de la communauté spatiale (lanceurs à bas coût, microsattellites pour applications sur smartphone, exploration, ...). De plus, l'engouement du public connaît une deuxième jeunesse avec les nouvelles perspectives offertes par ce secteur, que ce soit dans les applications de la vie quotidienne, dans l'étude des changements climatiques ou dans l'exploration de notre système solaire. Cerise sur le gâteau : nos spationautes, Thomas Pesquet en tête, nous font vivre leurs aventures dans l'espace sur tous les médias, comme aux plus belles heures de la conquête spatiale !

L'espace est naturellement un domaine d'innovations et de nouvelles technologies.

La naissance du lanceur Ariane 6, héritier d'une longue lignée de lanceurs européens qui ont fait leur preuve depuis bientôt 40 ans, est un enjeu capital pour l'industrie aérospatiale du vieux continent. En effet, l'Agence Spatiale Européenne (ESA), maître d'ouvrage de ce programme technologique, doit offrir à l'Europe un lanceur fiable, performant et économiquement compétitif dans moins de 3 ans.

Pour cela, l'ESA s'est entourée d'Airbus Safran Launchers (ASL) pour le développement du lanceur Ariane 6 et du CNES pour le développement de sa Base de Lancement (ELA4) sur le Centre Spatial Guyanais. L'enjeu est considérable : développer en parallèle un nouveau lanceur et un nouvel Ensemble de Lancement en 6 ans, en réduisant les coûts de lancement de 50 % !

C'est l'effort à faire pour rester dans la course des lanceurs et rester numéro 1 des lancements de satellites commerciaux.

Ce développement doit donc répondre à des contraintes drastiques en termes de planning (simultanéité du développement du Lanceur et de sa Base), de gestion de flux d'informations (nombreuses, complexes et variables) et de coûts (non récurrents et récurrents). Très vite, il est apparu que les méthodes traditionnelles de management de projet n'étaient plus adaptées.

La méthode BIM s'est imposée de fait au CNES pour la conception des Infrastructures de l'ELA4 :

- L'emploi des maquettes numériques a permis une meilleure synergie avec les équipes d'ASL en charge des études du lanceur Ariane 6. Les choix fondamentaux dans l'assemblage au sol des étages de la fusée ont été menés avec cet outil ainsi que la définition optimisée des bâtiments afin d'en réduire les coûts d'exploitation ;
- La communication avec une multitude de sociétés situées aux 4 coins de l'Europe s'en est trouvée facilitée avec une référence commune basée sur une infrastructure numérique unique et sécurisée ;
- L'adaptabilité du projet aux besoins changeant du Lanceur a été accrue ;
- Enfin, la faisabilité du projet a pu être confirmée à chaque étape clé de la conception.

Le CNES a mis en place cette nouvelle méthode dès le début de l'avant-projet en 2013 et l'a imposé aux entreprises qui maintenant ont démarré la construction des principaux ouvrages de la nouvelle Base Spatiale.

Tous les contractants du CNES dont Le Groupement européen ECLAIR6, composé d'EIFFAGE Génie Civil, ICOP, Eiffage Métal, SEH, Eiffage Route, Clemessy et Axima, réalisent ainsi en étroite collaboration avec les équipes du CNES leurs études détaillées et d'exécution.

En adaptant son mode de management, ses outils de gestion de projet et en formant son personnel, le CNES a pris en marche le train (ou plutôt la fusée... !) de cette révolution numérique du BIM qui est aujourd'hui inévitable dans les projets complexes.

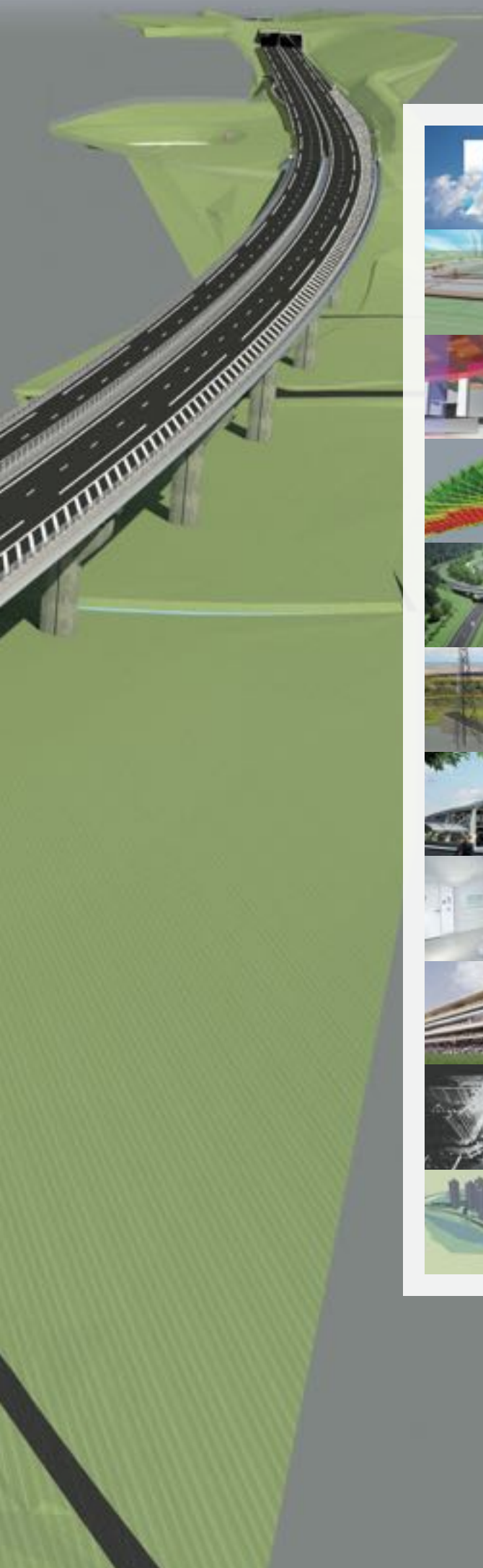
PIERRE GUILHEMCHEF DE PROJETS INFRASTRUCTURES
CENTRE NATIONAL D'ÉTUDES SPATIALES



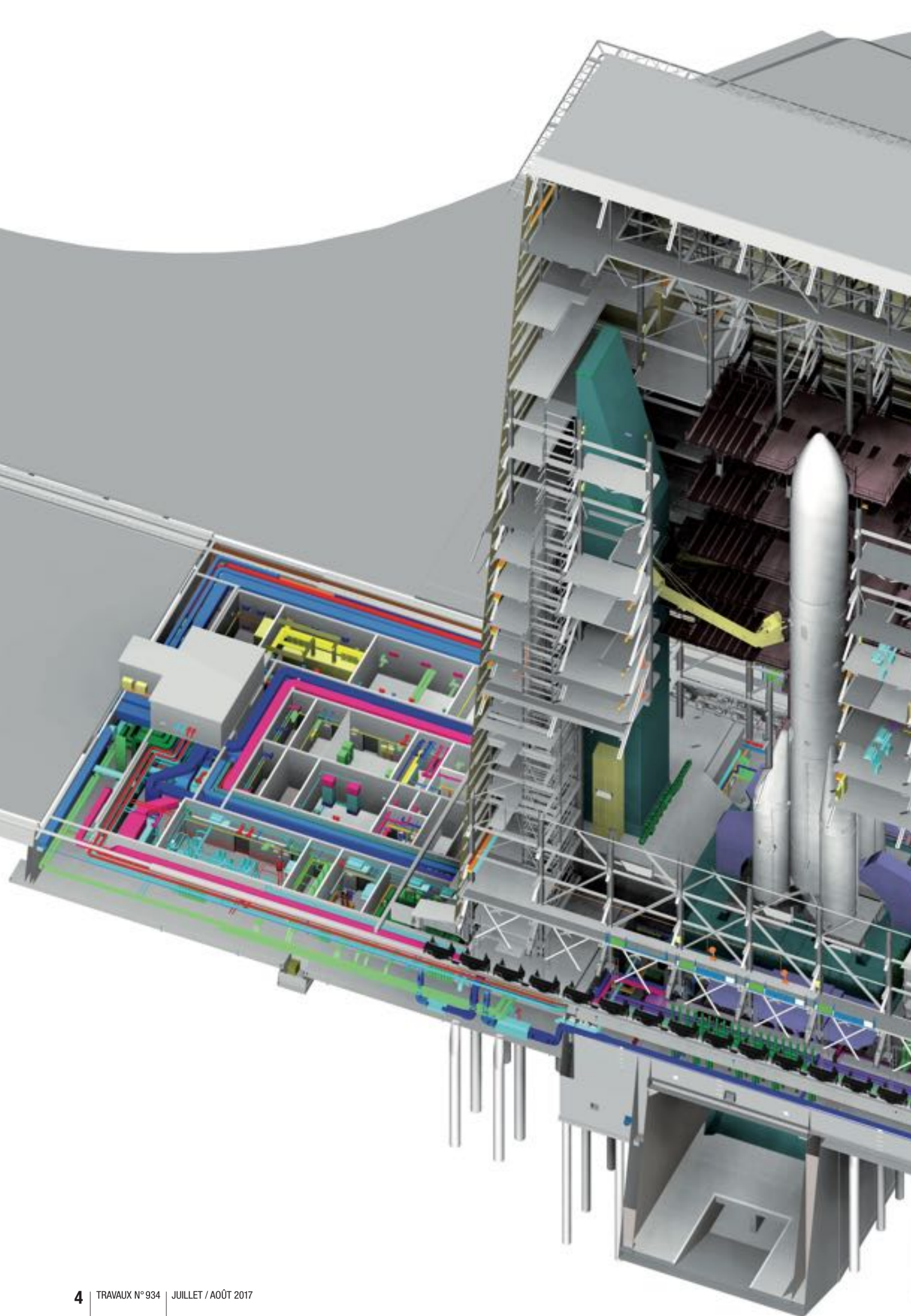
SPÉCIAL BIM²

LE CONTOURNEMENT DE LANGEAIS © ARCADIS



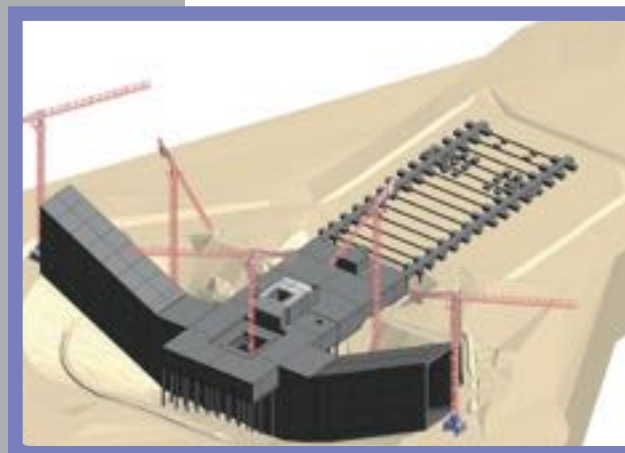


- 006 **ENTRETIEN AVEC NICOLAS JACHET**
DE LA MAQUETTE 3D À L'INGÉNIERIE NUMÉRIQUE
- 012 **ENTRETIEN AVEC PASCALE COMMUN**
VIVRE LE BIM AU QUOTIDIEN DANS L'ENTREPRISE
- 018 **VERRIÈRE EULER :**
LA DÉMARCHE BIM APPLIQUÉE À UN PETIT OUVRAGE
- 022 **LE PROJET DE RECHERCHE NATIONAL MIN'D :** AVANCÉES ET PERSPECTIVES
- 030 **CYCLE DE VIE DES CHAUSSÉES**
DANS UN CONTEXTE BIM
- 036 **BIM ET SIG :** GESTION DES DÉBLAIS
- 042 **LA RÉPONSE INNOVANTE D'« EXCELLENCES TP » À :**
COMMENT FORMER AU BIM
- 048 **LES INFRASTRUCTURES LINÉAIRES -**
LE NOUVEAU DÉFI DU BIM
- 054 **LA GESTION DES INTERFACES BIM INFRA**
SUR LE PROJET DU GRAND PARIS EXPRESS
- 062 **BIM ET COBie** SUR L'OUVRAGE PAYSAGER
« GARDEN BRIDGE »
- 068 **L'UTILISATION DU BIM** SUR LE CONTOURNEMENT DE LANGEAIS
- 074 **ARIANE 6 -**
DES PROCÉDÉS MODERNES POUR LE PROCHAIN LANCEUR EUROPÉEN
- 080 **LE BIM EN REVUE DE CONCEPTION -**
UN SUPPORT INCONTOURNABLE D'AIDE À LA DÉCISION - ROCADE L2
- 086 **OPC 2.0 :** PILOTAGE 4D DES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DE LA HALLE FREYSSINET
- 092 **« BIM-TO-SITE » :** LE BIM AU CŒUR DE L'ACTE DE CONSTRUIRE - APPLICATION POUR LE PROJET ARCHADE AU CENTRE CYCLHAD À CAEN
- 100 **MODÉLISATION DES ARMATURES EN 3D** SUR LE CHANTIER DU NOUVEAU LONGCHAMP
- 104 **TOUR TRINITY -** LE BIM UN OUTIL DE CONCEPTION ET UNE AIDE À LA CONSTRUCTION INDISPENSABLE
- 110 **LAM TIN TUNNEL À HONG KONG -**
UNE ALTERNATIVE EN ÉCOCONCEPTION



ARIANE 6 BIM ET HAUTE TECHNICITÉ

Eclair6 est le groupement emmené par Eiffage Génie Civil qui réalise les infrastructures de l'ensemble de lancement d'Ariane 6 pour le compte de l'Agence spatiale européenne (ESA), maître d'ouvrage, et du Centre national des études spatiales (CNES), maître d'œuvre. Depuis le stade de l'avant-projet, le CNES a imposé le BIM à tous les acteurs et systèmes. Cette démarche permet de partager au plus tôt l'information entre systèmes en vue de leur intégration. L'objectif, sur ce projet de haute technicité, est d'identifier et de maîtriser les risques liés à la coexistence des systèmes. [\(Voir article page 74\).](#)



DE LA MAQUETTE 3D À L'INGÉNIERIE NUMÉRIQUE

EGIS A FAIT DU BIM UN STANDARD DE PRODUCTION POUR LA RÉALISATION DE TOUS LES PROJETS QUI LUI SONT CONFIS. PIONNIER DANS LA RECHERCHE, LA FORMATION ET LA PROMOTION DU BIM AUPRÈS DE SES PARTENAIRES, LE GROUPE DÉVELOPPE AUJOURD'HUI DES APPLICATIONS DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE DÈS LA PHASE AMONT JUSQU'À LA MAINTENANCE ET L'EXPLOITATION DES OUVRAGES. **ENTRETIEN AVEC NICOLAS JACHET, PRÉSIDENT - DIRECTEUR GÉNÉRAL D'EGIS ET PHILIPPE DUC, DIRECTEUR TECHNIQUE ET PERFORMANCE.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



NICOLAS JACHET, PRÉSIDENT - DIRECTEUR GÉNÉRAL D'EGIS ET PHILIPPE DUC, DIRECTEUR TECHNIQUE ET PERFORMANCE, PRÉCISENT L'APPROCHE ORIGINALE QUI EST FAITE PAR EGIS DE CETTE NOUVELLE DISCIPLINE, TANT EN CE QUI CONCERNE LA CONCEPTION QUE LA CONSTRUCTION ET L'EXPLOITATION DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL ET DE BÂTIMENT.

Le terme BIM (Building Information Modelling) en tant que tel existe depuis une trentaine d'années. Il est devenu omniprésent dans le monde de la construction. Depuis quand sa mise en œuvre peut-elle être considérée comme effective dans les Travaux Publics ?

Les réflexions sur le BIM appliqué aux chantiers de génie civil sont assez

anciennes puisqu'elles remontent au projet COMMUNIC développé au milieu des années 2000 et financé par l'ANR, l'Agence Nationale de la Recherche, et auquel Egis a participé avec la plupart des majors du BTP.

Schématiquement, il avait pour objectif de permettre de favoriser des gains de productivité par une meilleure interopérabilité des usages et des logiciels afin de réaliser les infrastructures -

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURE 2 © LAVIGNE CHÉRON ARCHITECTES - FIGURE 3 © EGIS



terrassements, ouvrages d'art, travaux souterrains... - plus rapidement et de façon optimisée face aux nouvelles exigences sociétales, environnementales, de performances et de services.

Il s'agissait d'un projet structurant qui a servi de base au projet actuel MIN^oD⁽¹⁾, concernant la modélisation des informations dans tous les domaines des infrastructures durables. Sa grande force a été de fédérer une centaine de participants comprenant des maîtres d'ouvrage, des bureaux d'ingénierie, des entreprises, des organismes de recherche et des universités.

MIN^oD a constitué l'un des éléments qui nous a permis de progresser, même s'il se déroulait à l'extérieur d'Egis.

Parallèlement, nous avons développé en interne un premier projet de recherche, baptisé ITM (Initiatives Techniques et Méthodologiques) au travers duquel nous avons travaillé avec l'ensemble de nos filiales à identifier les problématiques et les chantiers à explorer dans le cadre de cette maquette numérique.

On s'est aperçu très vite que la maquette numérique interagissait avec l'ensemble des processus de l'entreprise tant dans les domaines technique, juridique et commercial que dans celui du déroulement contractuel de l'acte de construire et des Systèmes d'Information.

Nous avons structuré l'ensemble des informations recueillies et nous les avons présentées sous la forme du projet « BIM by Egis » qui constitue un véritable projet d'entreprise au travers de neuf « chantiers » de transformation. Le travail s'est poursuivi par des cas d'usage sur des projets réels qui nous ont permis de progresser dans tous les chantiers recensés.

NICOLAS JACHET : PARCOURS

Nicolas Jachiet est polytechnicien et énarque, promotion « Solidarité » (1983).

D'abord haut fonctionnaire, il exerce comme inspecteur des finances, puis devient secrétaire général du Club de Paris pendant quatre ans, jusqu'en 1991.

Après un passage au cabinet d'Edmond Alphandéry entre 1993 et 1995, il est ultérieurement chef du service des participations du Trésor où il prépare, entre autres, les privatisations du Crédit Lyonnais, d'Air France, de Renault, de Thomson-CSF, de Rhône-Poulenc, d'Elf Aquitaine.

En 2002, il quitte la fonction publique pour le secteur privé et entre chez Danone comme directeur des services administratifs et financiers.

En 2004, il rejoint Egis, groupe d'ingénierie français, filiale de la Caisse des Dépôts, dont il prend la direction générale en 2005 et devient président-directeur général en 2012.

1- De gauche à droite, Philippe Duc, directeur technique et performance et Nicolas Jachiet, président - directeur général d'Egis.

2- La nouvelle route du littoral à La Réunion.

3- Maquette numérique BIM de la Rocade L2 de Marseille.

4- Construction de la Doha Expressways Al Rayyan Road au Qatar.

5- Photomontage pour la Doha Expressways de Doha.

Nous avons donné un deuxième élan à notre démarche en développant une cartographie de la maturité du BIM dans l'entreprise. Ainsi, après avoir fourni à l'ensemble du groupe des outils et des moyens lui permettant de progresser, nous sommes passés, à l'automne 2016, à la phase de déploiement généralisé, dans tous nos domaines d'activité ainsi que dans ceux de nos clients.

Vu avec un peu de recul, cela paraît aujourd'hui anecdotique. Mais un projet a constitué la première application du BIM : il s'agit d'une halle de sports pour l'Armée Française conçue en 2010.

Quels sont les projets les plus emblématiques sur lesquels vous avez déployé depuis les compétences d'Egis dans la mise en œuvre du BIM ?

Egis assure la maîtrise d'œuvre complète de la nouvelle route du littoral à La Réunion, liaison entre Saint-Denis et La Possession.

Ce nouveau lien de 12 km, qui se développe dans l'Océan Indien, à une centaine de mètres de la route à 2x2 voies actuelle, constituera un itinéraire sécurisé par rapport aux risques de la falaise instable et des houles cycloniques centennales. Conçu sous maquette numérique, ce projet bénéficie de l'expertise BIM d'Egis.

Autre exemple : l'agglomération Rennes Métropole a confié à Egis la maîtrise d'œuvre complète (infrastructures et bâtiments) de la ligne b du métro de Rennes, conçue sous maquette numérique.

Egis et les autres mandataires du groupement se sont vu confier par la SEMTCAR (mandataire de la maîtrise d'ouvrage) la maîtrise d'œuvre du génie civil et des équipements non liés au système de transport sur la totalité de la ligne.

Au sein du groupement, Egis est particulièrement en charge du tunnel, du viaduc et du génie civil de 7 stations. Cette mission comprend l'intégration de fondations géothermiques dans quatre stations de la ligne.

Autour de ces ouvrages, la prestation d'Egis est composée de l'avant-projet (dont le tracé et la conception fonctionnelle des 15 stations), le projet, l'assistance à la dévolution des contrats de travaux, le visa, la direction de l'exécution des travaux, la synthèse, l'assistance aux opérations de réception, l'ordonnancement, la planification et la coordination, la coordination SSI, et l'élaboration des dossiers de sécurité.

Sur le métro de Rennes, la maquette numérique a amélioré très significativement la maîtrise des risques du maître d'ouvrage et a largement contribué à simplifier et sécuriser les modifications apportées en cours de travaux. ▶

© EGIS

4



© EGIS

5



Un autre projet, qui est d'ailleurs en cours de livraison, est celui de la Rocade L2 à Marseille.

La Société de la Rocade L2, dont Egis est membre dans le cadre d'un PPP, a été missionnée par l'État pour la conception et la construction de cette voie rapide urbaine gratuite, d'une dizaine de kilomètres, permettant aux automobilistes de contourner facilement Marseille.

Composée de deux tronçons, Est (5,5 km) et Nord (4,1 km), elle a pour objectif de faciliter la liaison entre les autoroutes pénétrantes A7 (autoroute Nord vers Lyon et par l'A51 vers Aix-en-Provence) et A50 (autoroute Est vers Aubagne et Toulon) et de désengorger les grands boulevards.

Sur ce projet, Egis est un acteur multi-casquettes :

→ Actionnaire à 5% de la Société de la Rocade L2, chargée de la conception, la construction et du financement de l'ouvrage, puis de son entretien et de sa maintenance pour une durée de 30 ans. Egis participe notamment aux activités de maintenance et plus particulièrement aux missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage maintenance et GER (Gros Entretien Réparations).

→ Maître d'œuvre intégré auprès du groupement constructeur (GIE L2) chargé de la conception et de la construction de l'ouvrage. Intégrateur clé en main des équipements fixes d'exploitation, de la gestion Technique Centralisée des tunnels et du Système d'Aide à la Gestion du Trafic (SAGT) sur le réseau de Voies Rapides Urbaines de Marseille pour le compte de la DIRMED.

Pour la Rocade L2, la maquette numérique de conception a été utilisée également pour faire de la vérification en

EGIS : REPÈRES

Concepteur du long terme, Egis est l'un des leaders mondiaux de l'ingénierie de la construction et de l'aménagement des territoires.

Fort d'une offre globale unique, le Groupe allie les savoir-faire de l'ingénierie aux compétences de développement de projets, à l'investissement en capital, au « clé en main » d'équipements, à l'exploitation et aux services à la mobilité.

Egis est un acteur et un partenaire de confiance dans les domaines clés des transports et du bâtiment, de l'eau, de l'environnement et des grands ouvrages, mais aussi de l'industrie et de l'énergie, de l'aviation, de la ville et de l'ingénierie du numérique.

Egis est filiale à 75% de la Caisse des Dépôts et à 25% d'Isois Partenaires & Fonds Commun de Placement d'Entreprise (actionariat des cadres partenaires et des salariés).

En 2016, le Groupe a franchi le seuil symbolique du milliard d'euros avec 1,020 Md€ de chiffre d'affaires géré en 2016, et enregistre une croissance de 9,3% de son activité.

L'activité à l'international a continué d'augmenter (+13,6% en 2016), notamment au Moyen-Orient, en Inde et en Europe, et représente désormais 63% de l'activité totale du Groupe.

Egis compte 13800 collaborateurs (5500 en exploitation et 8300 en ingénierie).

réalisant la première visite virtuelle d'un projet autoroutier par les services de l'État. Egis a d'ailleurs reçu en 2015 un BIM d'argent dans la catégorie « infrastructure » pour cet usage de la maquette numérique sur ce projet.

D'autres projets récents ou en cours ont-ils été réalisés avec l'appui d'une maquette numérique ?

Au Qatar, Egis a remporté cinq projets dont celui du « Doha Expressways » au travers de deux lots.

Pour le premier lot, il s'agit de l'un des principaux axes de Doha, Al Ryan Road. Le long de cette voie rapide se trouvent des équipements importants

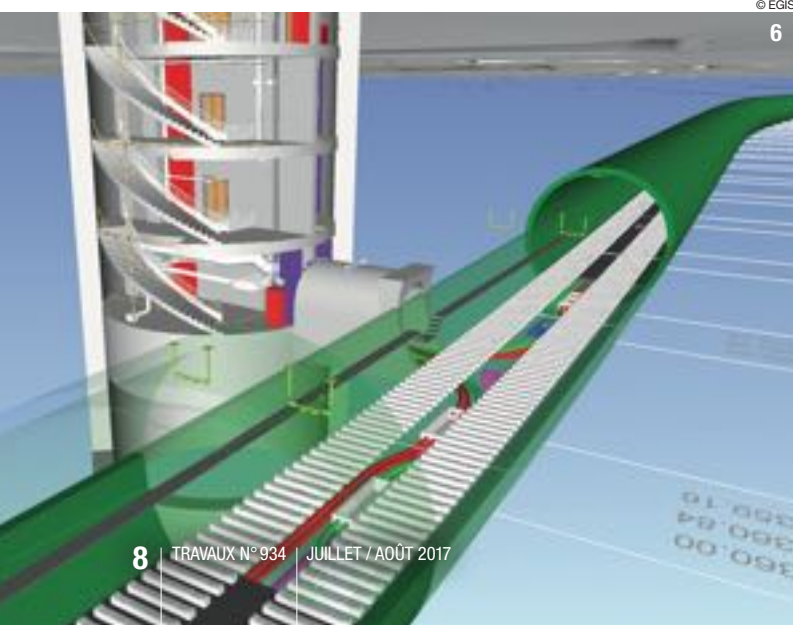
- le palais de l'Émir, l'hôpital, le pôle éducatif et une zone résidentielle - qui drainent beaucoup de trafic. Le projet consiste, sur 16 km, à élargir la voie et à créer treize carrefours en dénivelé. Le deuxième lot concerne 120 km de routes, notamment un tronçon de 30 km au nord de Doha pour rejoindre le futur pont qui reliera le Qatar à l'État de Bahreïn, et un autre de 19 km à l'ouest pour relier la ville aux installations gazières et aux industries situées le long de cet axe.

Les enjeux de ces projets sont de désenclaver les régions périphériques de Doha pour développer l'économie sur l'ensemble du territoire, conformément aux objectifs de Vision 2030.

Pour le premier lot, Egis supervise les travaux sur l'axe Al Ryan Road. Sur le deuxième lot, Egis s'est vu confier les études et la supervision des travaux. En favorisant le travail collaboratif entre toutes les parties prenantes et en permettant la modélisation la plus juste de l'ouvrage sur tout son cycle de vie, le BIM garantit des temps et des coûts maîtrisés, en répondant aux exigences techniques et environnementales les plus hautes.

Dans le domaine de la route, le BIM semble également entré dans les mœurs. En est-il de même dans celui des travaux ferroviaires et, notamment, souterrains ?

Sur le projet du Grand Paris, Egis, en groupement, est attributaire d'un des plus gros de ces contrats avec la maîtrise d'œuvre des systèmes des lignes 15, 16 et 17 représentant 100 km de lignes et comprenant 40 gares, pour un montant global de 96 M€. D'une durée totale de 18 ans, ce marché concerne la maîtrise d'œuvre des équipements : voie ferrée, courants forts, ligne aérienne de contact, courants faibles, façades de quais, équipements industriels des ateliers de maintenance, équipements électromécaniques et canalisations. Egis a également été désignée par la Société du Grand Paris pour diriger la maîtrise d'œuvre complète des infrastructures de la future ligne 16 du métro du Grand Paris. Egis va aussi réaliser, avec l'agence Richez Associés, les études de maîtrise d'œuvre du premier site de maintenance et de remisage du matériel roulant (SMR) de la ligne 15 Sud, à Champigny-sur-Marne. Un site industriel majeur pour le bon fonctionnement du réseau du Grand Paris.



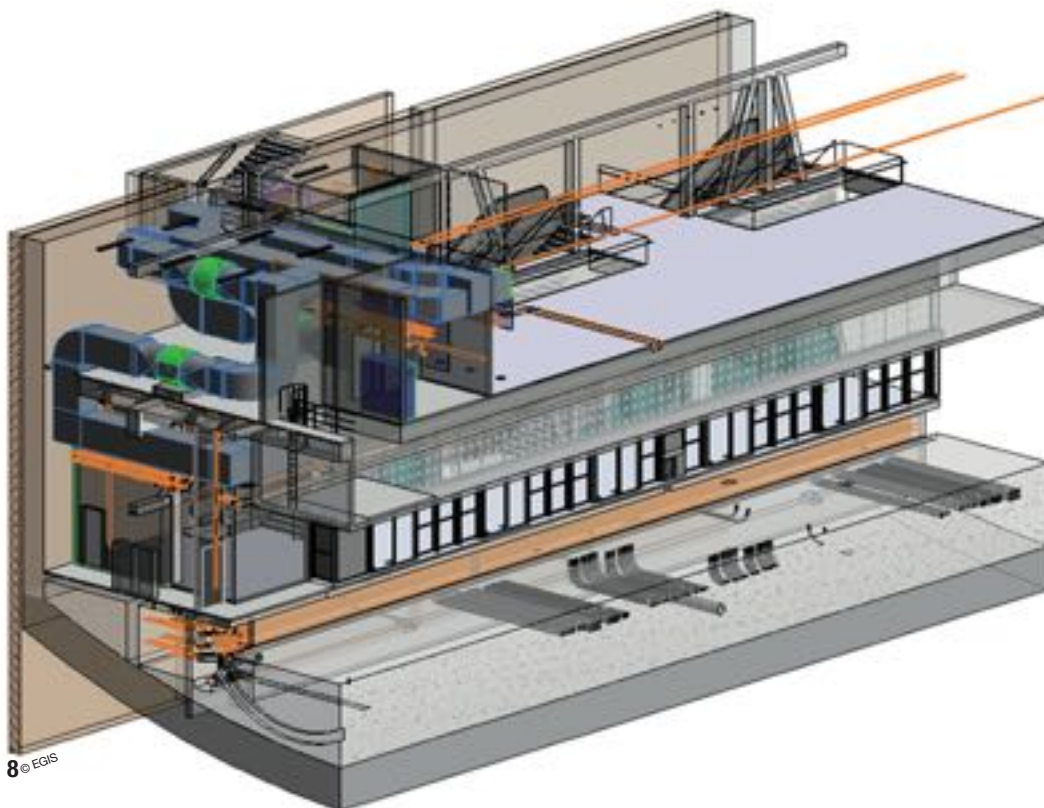
© EGIS

6



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS/RICHEZ ASSOCIÉS

7



8 © EGIS

Le groupement Koruseo, dont Egis est mandataire, a remporté en 2016 la maîtrise d'œuvre des infrastructures de la Ligne 15 Est, entre Saint-Denis Pleyel et Champigny-Centre. Avec ses 23 km en souterrain, cette nouvelle ligne de métro automatique reliera Saint-Denis-Pleyel à Champigny-Centre en moins de 30 mn et desservira 12 communes. Elle est reliée à la ligne 15 Sud et à la ligne 15 Nord et permet des correspondances avec les RER B, D et E, les lignes du métro 1, 5, 7, 11, 12 et 14, les tramways T1, T4, T8 et la TLN et plusieurs pôles bus. La mise en service de ce tronçon est prévue à l'horizon 2025-2030.

Dans le cadre de la ligne 15 Est, les équipes Bâtiments d'Egis et celles d'Elioth, une entité d'Egis, vont intervenir sur la gare emblématique de Pont-de-Bondy, dont le marché de maîtrise d'œuvre architecturale vient

6- Modélisation d'un tunnel pour le Grand Paris Express.

7- Centre de remisage et de maintenance de Champigny-sur-Marne du Grand Paris Express.

8- Maquette numérique BIM pour la ligne B du métro de Rennes.

9- Le Centre de remisage et de maintenance de Champigny-sur-Marne, de nuit, conçu par l'agence Richez Associés.

10- Installation du double pont roulant dans le hall d'assemblage d'ITER à Cadarache.

d'être confié aux entreprises BIG et Silvio d'Ascia. Elles réaliseront le second œuvre et la partie passerelle, façade et HQE.

Nous étions également présents sur la LGV Sud Europe Atlantique qui relie Paris à Bordeaux en deux heures depuis quelques mois.

Pour les 302 km de lignes nouvelles qui viennent d'être construites entre Tours et Bordeaux, près de 150 collaborateurs d'Egis ont été mobilisés, avec des compétences diverses croisant plusieurs domaines : rail, environnement, géotechnique, hydraulique... Maillon-clé du réseau ferroviaire européen, la LGV SEA est l'un des plus gros projets de génie civil en France et le premier projet français d'infrastructure ferroviaire

Associé au groupement d'entreprises COSEA engagé sur ce projet, Egis est intervenue en tant que membre

du sous groupement concepteur qui était en charge de la conception des infrastructures et des équipements ferroviaires (voies et caténaires).

Au sein de l'entreprise elle-même, quelles dispositions ont-elles été mises en œuvre pour introduire le concept du BIM ?

Le sujet est traité domaine par domaine et comporte deux aspects : conceptuel et opérationnel.

Légitimement, l'aspect opérationnel reste hébergé dans chacune des « business units » concernées.

Pour autant, nous avons mis en place une structure qui coordonne l'ensemble de la démarche et qui fournit des moyens communs afin que l'ensemble des équipes concernées travaillent de manière interopérable en partageant les modèles et en étant coordonnées.

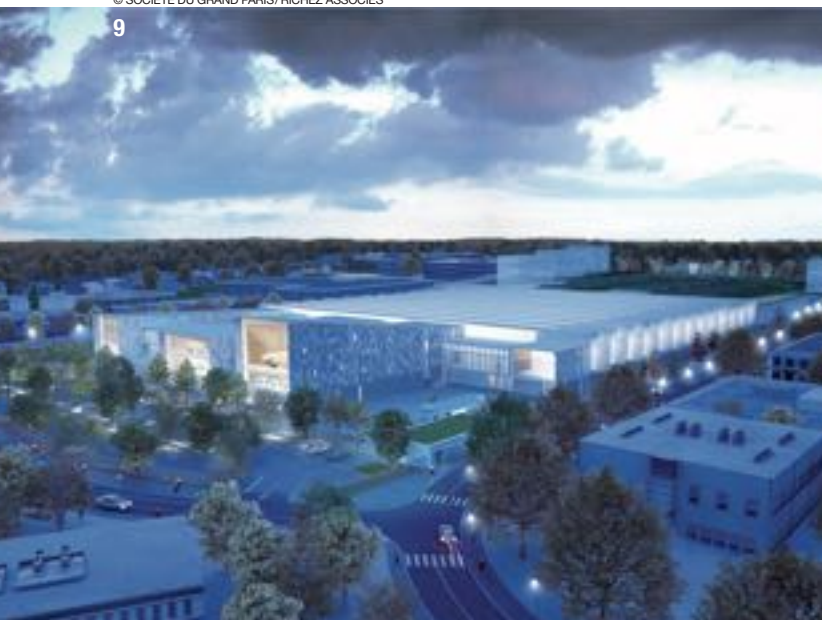
Ce niveau transversal est assuré par le « BIM Management Team » qui définit les méthodes et les moyens et en assure la maintenance tandis que chacun des métiers développe les spécificités qui le concernent, en respectant les 7 règles d'or du BIM que nous avons définies par ailleurs. Nous avons voulu conserver une cohérence d'approche au sein de l'entreprise afin de ne pas perdre les bénéfices de la transversalité engendrée par la diversité de nos métiers.

Le niveau opérationnel est piloté par des BIM managers qui supervisent la mise en application du BIM projet par projet.

Avec la maquette numérique, nous avons changé de mode de réflexion. La principale différence, au niveau des projeteurs par exemple, tient au fait qu'au lieu de représenter les éléments d'un ouvrage par un assemblage de ▽

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS/RICHEZ ASSOCIÉS

9



© EGIS ENIA ITER

10



traits, sur une planche autrefois, sur des écrans aujourd'hui, ils assemblent désormais des objets : pour un bâtiment, ils assemblent des murs, des portes, des fenêtres, des canalisations, des réseaux électriques... un peu à la manière d'un Lego®.

Le niveau de détail change en fonction de l'objet et de l'état d'avancement du projet mais le principe reste le même. La maquette numérique permet de travailler sur des objets de plus en plus complexes, tels que la canopée des Halles à Paris, ou le réacteur ITER à Cadarache.

La maquette numérique d'ITER, qui doit représenter de l'ordre de 10 millions d'objets, est coordonnée à Cadarache mais à partir d'éléments en provenance de 7 agences internationales réparties dans le monde. Elles travaillent chacune sur la maquette qui leur a été confiée et échangent en permanence avec la maquette centrale. Egis est partenaire du groupement ENGAGE, responsable de la maîtrise d'œuvre des bâtiments et des fluides (ce que les anglo-saxons appellent *utilities*). C'est un schéma en mode intégralement collaboratif. Le chantier concerne essentiellement un bâtiment industriel mais, pour autant, les méthodes déployées pour la gestion de la maquette numérique sont ce qui se fait de plus poussé au niveau du BIM. La maquette numérique centrale coordonnée à Cadarache est l'endroit où on assemble les maquettes élémentaires qui proviennent de chacun des métiers concernés : l'architecture, la structure, les équipements.

Cette démarche implique trois niveaux de contrôle : contrôle de la maquette, contrôle de la coordination, et la revue de projet, l'ensemble de ces contrôles limitant les risques.

COMMUNIC (COLLABORATION PAR LA MAQUETTE MULTI-USAGES NUMÉRIQUE ET L'INGÉNIERIE CONCORRANTE)

Une étude fine des processus et des pratiques de travail collaboratif autour de la maquette numérique permettra de dégager les modèles théoriques et pratiques de travail, adaptés tant aux contraintes réglementaires actuelles qu'à celles en cours de mise en place. Ils permettront de réaliser les gains de productivité par une meilleure interopérabilité des usages et logiciels, et d'obtenir des réalisations d'infrastructures plus rapidement et de façon optimisée face aux nouvelles exigences sociétales, environnementales, de performances et de services.

Cette analyse, appuyée sur une étude détaillée de la valeur créée ou potentielle permettra de dégager les priorités et voies de progrès organisationnelles et technologiques.

La mise en œuvre de cette réflexion théorique a priori au sein d'expériences-actions sur des projets réels permettra l'ajustement heuristique permanent entre théorie et pratique pour aboutir à un corpus robuste de connaissances applicables à l'ensemble de la profession.

Par ailleurs, dans l'ensemble de nos développements vis-à-vis du BIM, nous veillons à rester cohérents avec la normalisation.

La normalisation demeure indispensable. C'est l'objet que tous les intervenants doivent respecter.

Nous livrons à nos clients deux infrastructures d'un ouvrage : un ouvrage industriel fait de béton, d'acier et de verre, et un ouvrage numérique. Cet ouvrage numérique devra avoir une durée de vie allant de sa livraison à son démantèlement final, voire au recyclage de ses composants.

La maquette 3D comprend donc toutes les informations relatives à l'ouvrage jusque dans les moindres détails ?

Toute la question est là. Quel est l'usage que le client envisage de faire de sa maquette et à quelle échéance ?

Le niveau de détail, et la nature des informations proposés au client dépendent de l'usage qu'il veut en faire, y compris pendant la phase d'exploitation de l'ouvrage. D'où l'importance du fait que la maquette respecte la normalisation afin de permettre toute intervention ultérieure par un prestataire ayant la compétence pour le faire. La normalisation permet de garantir la continuité numérique de l'information. Toutefois il faut préciser aussi que BIM n'est pas forcément synonyme de maquette 3D.

Nous développons, dans le cadre de l'aménagement numérique du territoire, en l'occurrence pour la région Provence Alpes Côte d'Azur, un projet entièrement numérique dans lequel il n'y a pas de 3D.

Nous avons défini un modèle conceptuel intégrant un outil SIG qui modélise l'ensemble des données sans faire

appel à la 3D ; la représentation du système utilise uniquement de la schématique unifilaire.

En interne, comment Egis est-elle organisée pour diffuser l'intégration du BIM ?

Le BIM ne concerne pas seulement quelques équipes spécialisées. Avec la révolution numérique en marche, toute la filière des intervenants doit se familiariser avec cette méthode de travail. Chez Egis, en matière de maquette numérique, la formation n'est en effet pas un expédient face à la rareté des compétences sur le marché, mais représente un axe stratégique de développement du BIM. La priorité, pour nous, n'est pas tant de recruter des personnes ayant eu une formation initiale sur le sujet.

Nous misons davantage sur le développement interne des compétences, aussi large que possible. Ce à quoi nous faisons particulièrement attention dans les recrutements, ce sont les aptitudes personnelles de nos candidats, leur appétence pour les outils numériques.

Le groupe a mis en place des modules sur le management de projet et sur les outils de modélisation du BIM, qui visent donc un public large. Cette révolution numérique ne concerne pas seulement les chefs de projet : tous les collaborateurs doivent s'approprier une culture du BIM.

En participant activement à des réseaux et programmes de recherche tels que MIN'D et Mediaconstruct⁽²⁾, le groupe contribue à structurer les échanges d'informations, à définir un modèle de données standardisé, à développer de nouveaux outils et à spécifier les plateformes collaboratives entre tous les acteurs de la construction.

© EGIS ENIA ITER

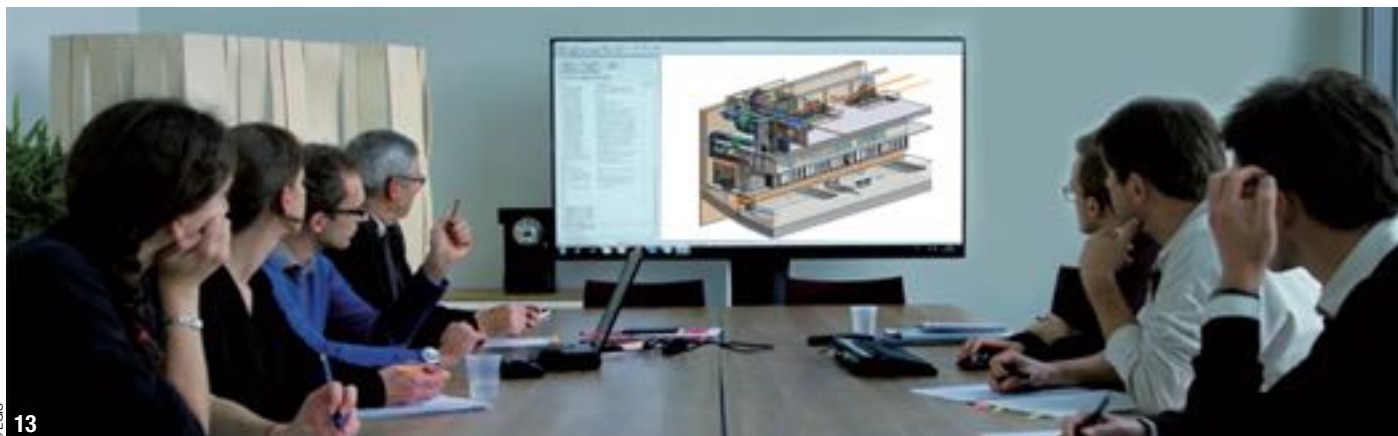
11



© ATELIER JEAN NOUVEL

12





© EGIS
13

Le BIM n'est pas limité à l'hexagone. Egis a intégré la société Projacs, au Moyen-Orient, qui propose une gamme diversifiée et intégrée de services de management de projet principalement liée aux projets de bâtiments. Cette société apporte un service de « BIM Management » qui est la construction de la maquette numérique à partir des données fournies par les différents intervenants.

Cette acquisition représente un nouveau tremplin pour notre développement dans cette zone. Projacs dispose d'une forte présence dans les Pays du GCC (Gulf Cooperation Council - Arabie Saoudite, Bahreïn, Oman, Qatar, Émirats Arabes Unis et Koweït), et intervient dans les pays limitrophes.

Entre ingénierie et exploitation, comment l'activité d'Egis se répartit-elle et quels sont vos projets de développement ?

L'ingénierie représente 75% de notre activité et l'exploitation 25%. Mais cette part est en développement, tant en France qu'à l'étranger, dans le domaine routier et aéroportuaire.

11- Bâtiment de recherche de projet ITER à Cadarache.

12- Tour Duo de l'architecte Jean Nouvel destinée à être implantée dans le 13^e arrondissement de Paris.

13- Réunion de travail autour d'un projet visualisé par BIM, en l'occurrence, une station de la ligne B du métro de Rennes.

14- LGV Sud Europe Atlantique : bifurcation de La-Couronne près d'Angoulême.

15- Visuel de la future gare emblématique Pont-de-Bondy du Grand Paris Express.

Depuis le 1^{er} janvier 2017, Egis a démarré, aux côtés des CCI et de Transdev, l'exploitation des aéroports de Pau-Pyrénées, Brest et Quimper. Ces nouvelles concessions confirment les ambitions d'Egis sur le marché français et sa volonté de se positionner sur les prochaines privatisations d'aéroports et de délégations de service public (DSP) en France.

En mars 2017, nous avons remporté le contrat d'Assistance à Maître d'Ouvrage dans le cadre du projet Charles-de-Gaulle (CDG) Express, la future liaison ferroviaire directe entre l'aéroport Paris-Charles-de-Gaulle et le centre de Paris. Egis va accompagner la future Société de projet attributaire du contrat de concession de ce projet jusqu'en 2024. En décembre 2016, dans la continuité de la COP21 et la COP22, Egis a signé avec le R20, organisation non gouvernementale à but non lucratif pour le développement et la mise en œuvre de projets d'énergie renouvelable un accord de partenariat portant sur le développement de projets « Waste-to-Energy » dans les pays en développement.

Avec La Poste et la Caisse des Dépôts, nous participons également au projet SOBRE d'instrumentation de l'ensemble des bâtiments de La Poste afin d'en dresser l'inventaire, les modéliser, d'en mesurer les caractéristiques de fonctionnement en les instrumentant pour définir une stratégie optimisée de maintenance et d'exploitation. SOBRE proposera, après une phase d'expérimentation sur les parcs des groupes actionnaires, des solutions concrètes pour le pilotage et la baisse des consommations d'énergie aux professionnels de l'immobilier.

Au-delà du BIM proprement dit et de son imagerie de maquette 3D, notre objectif est de modéliser l'information afin de passer à l'ingénierie numérique. Lors de l'intervention que nous avons faite à BIM World 2017 à Paris - La Défense sur le thème de « la continuité numérique dans les infrastructures », il n'y avait aucune image de maquette. □

- 1- **MIN'D** : Modélisation des Informations Interopérables pour les Infrastructures Durables.
- 2- **Mediaconstruct** : Association de promotion de la maquette numérique en France, membre de BuildingSmart International.

© PATRICK JANICEK

14



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

15



VIVRE LE BIM

AU QUOTIDIEN DANS L'ENTREPRISE

LE BIM EST UN MODÈLE DE L'OUVRAGE À CONSTRUIRE DONT L'INTERFACE LA PLUS CONNUE EST LA VISUALISATION 3D. C'EST UNE BASE DE DONNÉES PERMETTANT DE MODÉLISER LE PROJET TEL QUE L'ON VA LE CONSTRUIRE. **ENTRETIEN AVEC PASCALE COMMUN, DIRECTEUR DU « DÉPARTEMENT BIM » DE VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



MAIS C'EST BEAUCOUP PLUS, AINSI QUE NOUS L'EXPLIQUE PASCALE COMMUN QUI A REJOINT VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS EN MARS 2015 POUR DIRIGER LE DÉPARTEMENT BIM. AU SEIN DUQUEL ELLE S'APPUIE SUR SON EXPÉRIENCE POUR Y DÉPLOYER SES COMPÉTENCES AVEC UN CHARISME COMMUNICATIF. PASCALE COMMUN NOUS PRÉSENTE LES AVANTAGES DU PROCÉDÉ MAIS AUCI SES EXIGENCES ET SES CONTRAINTES AU TRAVERS DES RÉALISATIONS QUI METTENT EN LUMIÈRE LES OBSTACLES À FRANCHIR POUR L'INTÉGRER À CE QUI CORRESPOND À UN CHANGEMENT RADICAL DE MENTALITÉ EN MATIÈRE DE CONCEPTION, DE RÉALISATION ET DE SUIVI DE PROJETS.

Comment l'idée est-elle venue chez Vinci Construction Grands Projets de créer un département dédié au BIM ?

Le BIM n'était évidemment pas inconnu chez nous mais traité au cas par cas par des équipes en charge de zones géographiques et d'expertises métier

différentes. Chez Vinci Construction, nous sommes l'une des filiales les plus exposées à l'international, et si le BIM a mis un peu de temps à s'imposer en France, nous étions aux avant-postes de son déploiement rapide ailleurs dans le monde, à Londres notamment. L'objectif était de créer un départe-

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURES 2 ET 3 © VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS



ment pour déployer le BIM de façon structurée et efficace avec une typologie de projets différente applicable en France et dans le monde tant dans le bâtiment que dans les infrastructures, et impliquant de ce fait une certaine adaptabilité.

L'année 2015 a permis de collecter tout ce qui existait en matière de BIM au sein de Vinci Construction Grands Projets pour trouver le corpus commun et en faire soit des documents, soit des processus-types.

Confrontés à la diversité des chantiers à traiter, nous étions dans une démarche d'écoute permanente tout en nous appuyant sur ce corpus commun déjà existant.

Nous avons constitué une équipe centralisée en France à laquelle s'ajoutent des *BIM managers* déployés sur les chantiers et nous disposons d'une structure intégrée dans l'entreprise mais indépendante avec ses équipements technologiques propres de haut niveau, notamment de visio-conférence avec logiciels embarqués de navigation dans les maquettes, un espace de réflexion avec un grand mur à idées, des bureaux décloisonnés en *open space*, à la demande de leurs utilisateurs, pour favoriser les échanges... L'organigramme du département se présente sous la forme d'un rouage : l'image est symbolique mais elle représente bien les interconnexions permanentes existant au sein de l'équipe BIM. Nous sommes une équipe dans laquelle chaque membre a son importance et j'ai souhaité qu'il se crée vraiment une interaction et donc une synergie entre les idées de mes collaborateurs qui sont tous jeunes et mon expérience de plus de 20 ans de direction dans l'ingénierie Bâtiment et Travaux Publics que je partage avec eux.

PASCALE COMMUN : PARCOURS

Pascale Commun est ingénieur civil des Ponts et Chaussées (promotion 1989). Elle a exercé l'ensemble de sa carrière au sein de Setec bâtiment où elle a occupé successivement plusieurs postes de responsabilité : chef de projet - junior de 1989 à 1996, ingénieur spécialiste du démantèlement industriel et désamiantage entre 1996 et 2001, chef de projet entre 2005 et 2007, puis directeur de grands projets entre 2007 et 2015. Elle a été responsable de plusieurs grands projets transversaux de Setec à l'international et, notamment du métro de Riyadh.

Pascale Commun a rejoint le groupe Vinci en mars 2015 en tant que directeur du Département BIM au sein de Vinci Construction Grands Projets.

Dans la pratique, quelle est la démarche suivie par le département que vous dirigez ?

Le département a trois vocations principales. La première est l'établissement de processus et de procédures types ; la deuxième est l'assistance aux projets, y compris une partie très importante au démarrage, l'analyse du

contexte et de la définition de la stratégie, dont je m'occupe en direct ; la troisième est la recherche et développement.

Pour avoir des processus qualitatifs et pour disposer d'une R&D efficace, il importe que nous ayons des projets comme supports. Nous ne sommes pas dans la recherche fondamentale mais dans la recherche appliquée. Tous les projets de recherche traités au département sont soutenus par des réalisations.

Le rôle du département est transversal. Il a une vision sur la totalité des projets mettant en œuvre le BIM dès la demande qui peut être un appel d'offre, un marché de *design and build*, au démarrage de la construction et même en cours, ce qui, par exemple, est fréquemment le cas au Qatar. Nous intervenons à tous les stades d'un projet, de la conception à la maintenance en passant par la construction, c'est-à-dire sur tous les cycles de vie d'une opération. Il arrive qu'on fasse appel à nous lorsque la construction est quasiment terminée.

Les cas d'usage du BIM sont multiples. Cela commence par la création de la

maquette, c'est-à-dire de la base de données qui, pour pouvoir être utilisée correctement, doit permettre la constitution de ce que j'appelle le « socle 1 », soit la création d'une base de données dont l'un des aspects est la visualisation 3D qui nécessite d'être constituée, coordonnée et contrôlée.

On va pouvoir l'utiliser en vérifiant qu'elle ne comporte pas d'erreurs : relevé des conditions existantes, création du modèle, revue de design, coordination 3D.

À partir de là, on peut passer à la suite de façon sécurisée : extraction des plans 2D provenant de la maquette, extraction de quantités, suivi des problèmes de façon digitale, création de plateformes d'identification des données.

La maquette numérique est stockée en un endroit donné sur une plateforme collaborative.

Nos interlocuteurs peuvent alors mettre en évidence les problèmes éventuels et les implanter de façon digitale sur la maquette numérique en n'exportant que le lien.

Ces nouvelles données sont ainsi « assignées » c'est-à-dire envoyées afin d'être traitées, avec un délai de réponse donné.

La maquette n'a pas besoin d'être déplacée d'un serveur à un autre, ce qui est un réel gain de temps.

Le lien entre la maquette numérique et le planning permet ensuite de réaliser des simulations de construction, communément appelées 4D.

Le contrôle des travaux sur site constitue ensuite une étape très importante car c'est le maillon qui va permettre de faire la maquette *as-built* ou DOE (Dossier des Ouvrages Exécutés).

Les informations relevées sur chantier à partir d'une tablette chargée de la ▶

1- Pascale Commun, directeur du Département BIM de Vinci Construction Grands Projets.

2- Exemple de modélisation As Built.

3- Modélisation de l'existant.

4- Aéroport international de Santiago, Chili : 14 mois de design.

5- Le projet de la tour Trinity à Paris - La Défense.

© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

4



© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

5



L'HÔTEL MANDARIN ORIENTAL À LONDRES

Ce projet de rénovation, sur une surface de 12000 m², sera réalisé en deux phases de neuf mois chacune : la première phase portera sur l'ensemble des chambres situées sur l'aile Knightsbridge ; la seconde phase sur les chambres donnant sur Hyde Park. Deux grandes suites penthouse de 165 m² avec vue exceptionnelle sur Hyde Park seront construites en extension sur le toit au 9^e étage. L'hôtel restera en activité tout au long du chantier.

Cet ancien bâtiment datant de la fin du 19^e siècle sera réhabilité avec le plus grand soin et les plus beaux matériaux. Les équipes de Vinci Construction seront ainsi accompagnées des meilleurs artisans européens, tel que l'entreprise portugaise Bec et le français Bourneuf, pour les menuiseries extérieures, le groupement franco-italien Ildei Sfim pour les marbres, l'italien Interna pour l'agencement et le doreur français Gohard. Une grande diversité de marbres de très haute qualité sera utilisée, notamment du marbre de Grèce de Thessalonique pour les salles de bain (sols, murs et vasques), ainsi que du marbre de Carrare (Calacatta Oro) pour la réception de l'hôtel. Les miroirs antiques et des têtes de lits seront travaillés en mailles métalliques ou en verre incrusté de feuilles d'or.

L'architecte du projet est Purcell et la décoration a été confiée à Joyce Wang Studio et Thiany Design.

maquette numérique vont ensuite se synchroniser avec celles déjà présentes sur la maquette numérique, ce qui va permettre de travailler avec une base de données unique.

Cette maquette numérique peut - et doit d'ailleurs - évoluer en fonction des différentes phases d'un projet afin de correspondre précisément aux attentes que l'on en a, qu'il s'agisse de design, de conception, de travaux ou de maintenance.

De ce fait, il faut procéder à un « nettoyage » de la maquette au fur et à mesure de l'avancement des travaux : archiver certaines informations qui n'ont plus lieu d'être, en ajouter de nouvelles pour ne conserver que celles directement utilisables par le maître d'ouvrage.

Le BIM peut ainsi se caractériser comme un outil 3D, une base unique de données et une plateforme collaborative.

Cette maquette va ensuite être liée au logiciel de *facilities management* afin de pouvoir être utilisée par le client. Nous avons développé à cet effet avec IBM un pilote très abouti.

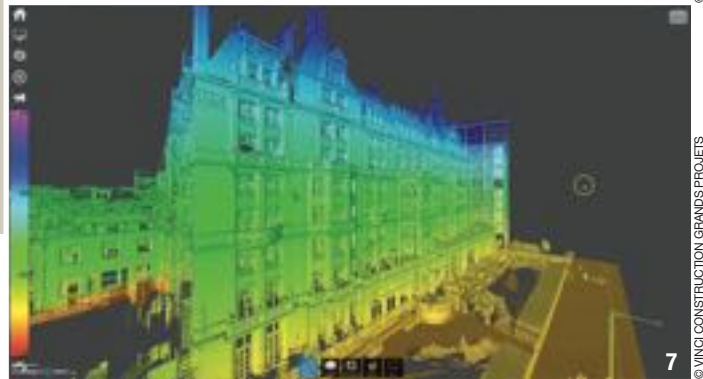
À l'ensemble de ces données s'ajoutent les possibilités de rendus visuels du projet, une impression 3D monochrome ou en couleur, d'immersion en masque ainsi que toutes les animations en temps réel à l'intérieur desquelles il est possible de se déplacer.

L'immersion se révèle très importante dans certains cas particuliers : par exemple, le service des douanes d'un aéroport a besoin de connaître



6

© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS



7

© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

6- L'hôtel Mandarin à Londres : rénovation 100% BIM.

7- Modélisation de l'hôtel Mandarin à Londres.

8- L'aéroport international de Dushanbe, Tadjikistan.

9- L'aéroport de Phnom Penh au Cambodge.

son champ visuel depuis son poste de contrôle. Ils peuvent disposer de cette visualisation grâce aux animations en temps réel et peuvent même procéder à des modifications.

Cela constitue un outil très fort de communication avec toutes les personnes qui ne sont pas naturellement à l'aise avec la 3D mais qui sont les utilisateurs du bâtiment ou de l'ouvrage qui est en construction.

C'est le cas d'appartements haut de gamme en construction à Kuala Lumpur. Le promoteur qui en assure la commercialisation à partir de plusieurs

© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

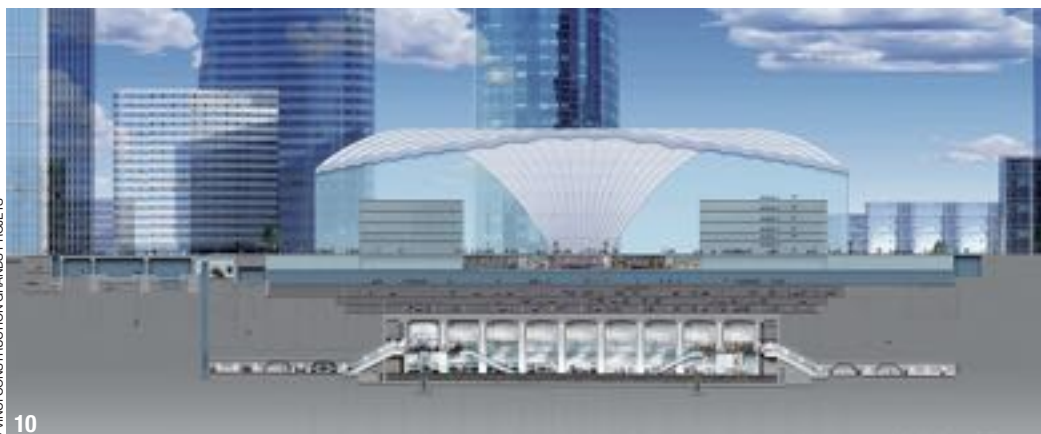
8



© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

9





10

LA GARE CNIT-LA DÉFENSE D'ÉOLE

La SNCF a confié ce chantier souterrain de haute technicité à un groupe dont Vinci Construction France est mandataire. L'opération porte sur la réalisation de la nouvelle gare de La Défense sous le dôme du CNIT, dans le cadre du prolongement du RER E vers l'ouest de Paris (Éole).

Le projet consiste en la construction d'une « cathédrale souterraine » tout en soutenant les structures existantes et en maintenant le site en exploitation. Outre la reprise en sous-cœuvres du parking du CNIT, seront également réalisés : un kilomètre de tunnels, un puits de 40 m de profondeur et de 15 m de diamètre ainsi que de nombreux couloirs piétons souterrains permettant notamment la connexion du RER E avec le RER A, les lignes L et U du Transilien et le Tramway T2.

Le défi majeur du chantier est d'intervenir dans l'environnement urbain dense et complexe de La Défense, les travaux nécessitant l'excavation de 350 000 m³ de déblais.

sites dans le monde peut ainsi mettre ses clients en immersion complète dans ces appartements quel que soit leur lieu de résidence.

Une démarche identique a été appliquée à une construction telle qu'une villa dans la région de Moscou, pour un client privé.

Cette villa est visible sur une maquette couleur réalisée par imprimante 3D, mais aussi sur une tablette avec

10- Station CNIT - La Défense d'Éole à Paris : 100 % BIM.

11- Modélisation des réseaux pour l'aéroport de Phnom Penh.

12- L'aéroport de Siem Reap au Cambodge.

ses plans détaillés et ses différents volumes, comme dans un jeu vidéo, mais aussi en immersion totale en temps réel dans chacune des pièces avec leur aménagement définitif le plus complet possible.

Nous sommes en permanence dans l'innovation et nous avançons en ouvrant également en permanence des voies nouvelles afin d'affiner notre approche et notre maîtrise du BIM. C'est notamment le cas pour la création de la maquette de maintenance d'un ouvrage qui doit inclure l'ensemble des composants - ASSET register - dont le maître d'ouvrage doit suivre l'évolution pendant la durée de vie de cet ouvrage. La préparation d'une telle maquette prévoyant l'évolution à terme d'une construction, quelle qu'elle soit, représente un réel challenge.

Nous avons actuellement deux projets - les tours IGH à Kuala Lumpur et l'hôpital universitaire du Kazakhstan - sur lesquels nous étudions, avec la filiale maintenance de Vinci Energies, quel accompagnement nous allons proposer à notre client pour lui permettre de suivre la vie de son bâtiment.

Quels sont les projets en cours de votre département qui font appel au BIM ?

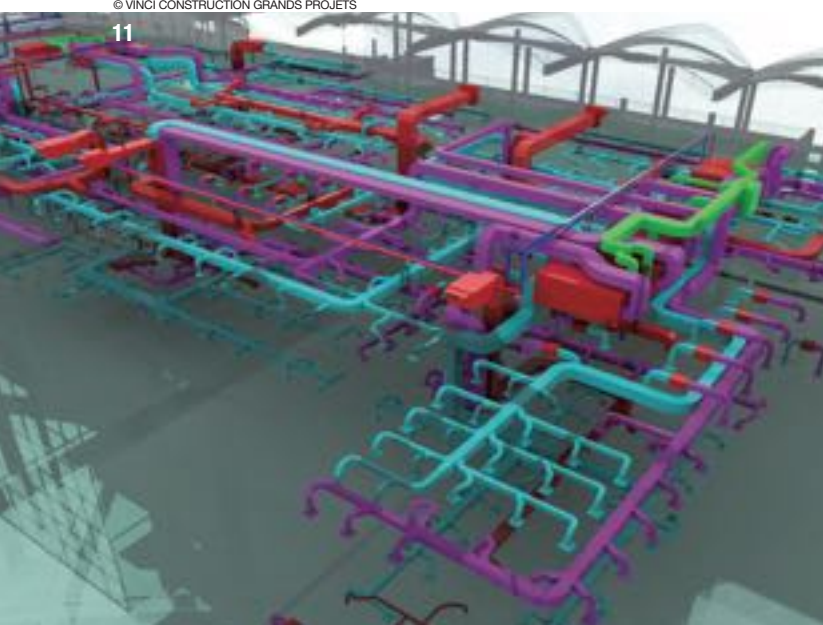
Les projets que nous construisons actuellement sont répartis sur plusieurs continents, en Amérique Centrale (Panama) et en Amérique Latine (Chili), au Qatar, en Europe de l'Est (Russie, Kazakhstan), en Asie (Indonésie, Cambodge), en Europe (France et Grande Bretagne).

Deux de nos projets phares sont l'aéroport international Arturo Merino Benítez de Santiago au Chili, premier grand projet 100 % BIM de près d'1 milliard d'euros pour lequel nous avons 7 collaborateurs BIM sur place, et l'hôtel Mandarin Oriental de Londres (projet de 60 millions de Livres Sterling), qui a reçu un BIM d'or en 2016 dans la catégorie internationale.

Ce projet de rénovation, sur une surface de 12 000 m², sera réalisé en deux phases de neuf mois : la première phase portera sur l'ensemble des chambres situées sur l'aile Knightsbridge ; la seconde sur les chambres donnant sur Hyde Park. Deux grandes suites penthouse de 165 m² avec vue exceptionnelle sur Hyde Park seront construites en extension sur le toit au 9^e étage. L'hôtel restera en activité tout au long du chantier. Utilisé dès la phase de conception, le Building Information Modeling (BIM) a permis un traitement accéléré des relevés de l'hôtel existant pour proposer, en 3D et de façon collaborative, des options d'aménagement efficaces afin d'aider le client dans ses choix. En phase de travaux, le BIM permettra d'optimiser le chantier.

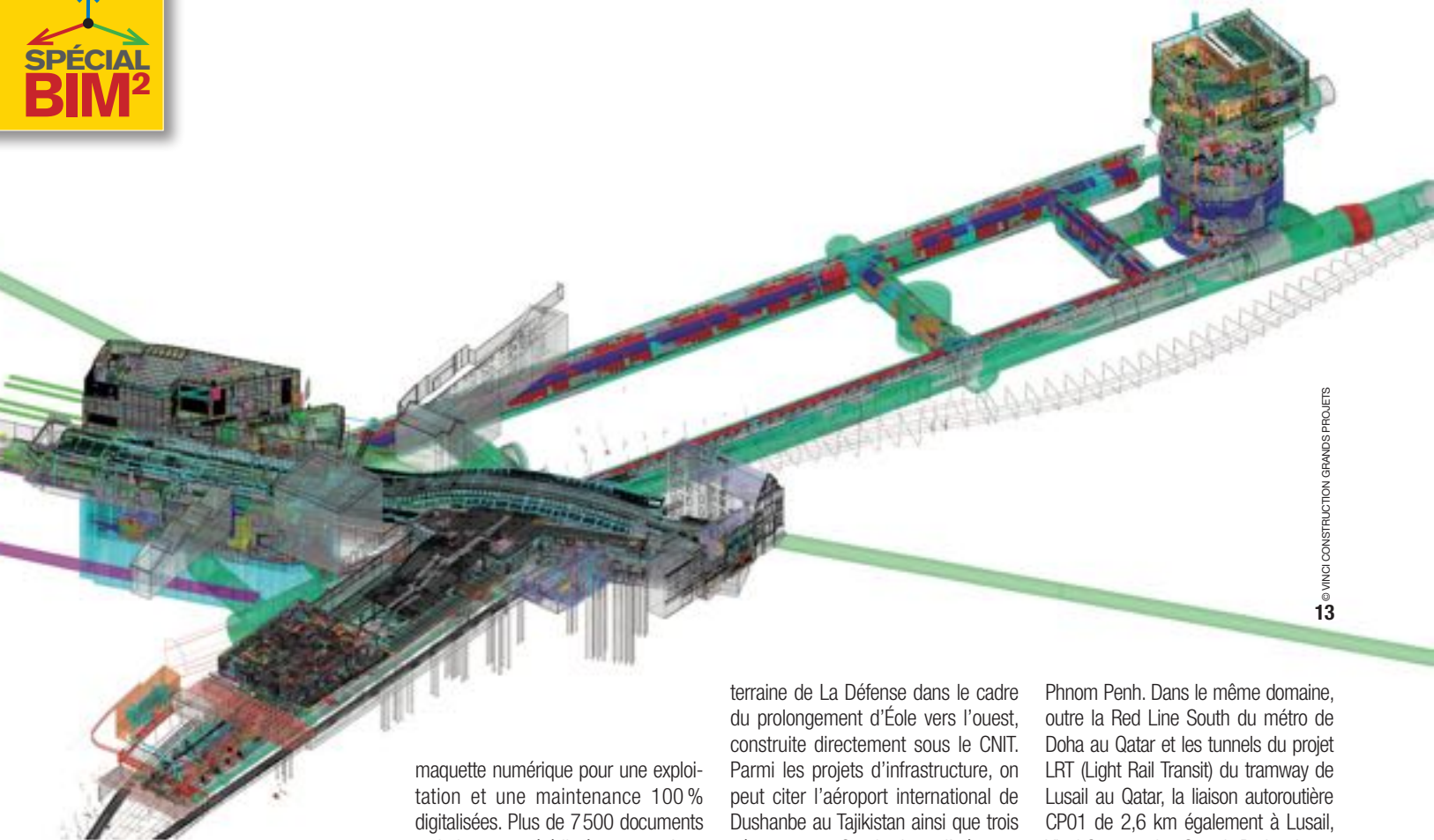
Par ailleurs, les travaux étant réalisés en site occupé, la maquette numérique aide à anticiper les problématiques liées au fonctionnement de l'hôtel et ▷

11



12





© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS
13

à gérer aisément les phasages et flux de personnes. Le client peut ainsi tirer profit des bénéfices du BIM en phase d'exploitation.

Au Chili, il s'agit de l'extension et de la rénovation de l'aéroport de Santiago, afin de porter la capacité d'accueil de l'aéroport actuel de 16 à 30 millions de passagers. Le nouveau terminal disposera d'une surface totale de 175 000 m². Le contrat comprend également la réhabilitation d'une partie du terminal existant de 30 000 m², un bâtiment de parking sur 3 niveaux de 93 000 m² et 550 000 m² de chaussées aéroportuaires.

L'occasion nous est donnée ici de déployer sur ce projet conçu en BIM le modèle intégré de concessionnaire-construteur du groupe Vinci. Vinci livrera à la société concessionnaire, en même temps que l'ouvrage, la

maquette numérique pour une exploitation et une maintenance 100 % digitalisées. Plus de 7 500 documents techniques ont été livrés en 9 mois et plus de 60 modèles BIM sont assemblés et coordonnés en continu.

Ce projet est en conception-construction, tous corps d'état et clés en mains.

Outre l'aéroport de Santiago et l'hôtel Mandarin, quels sont les projets auxquels le Département BIM a déjà ou va collaborer ?

Aux projets de bâtiments que j'ai déjà évoqués précédemment, on peut ajouter la tour Trinity à Paris-La Défense, réalisée par Bateg, GTM Bâtiment et Sogea TPI, filiales de Vinci Construction France, pour laquelle le Département BIM a apporté son expertise, la construction des tunnels des stations de Liverpool Street et de Whitechapel et des ouvrages associés ainsi que de la station Whitechapel, dans le cadre du réseau Crossrail destiné à traverser Londres d'est en ouest, la gare sou-

terrain de La Défense dans le cadre du prolongement d'Éole vers l'ouest, construite directement sous le CNIT. Parmi les projets d'infrastructure, on peut citer l'aéroport international de Dushanbe au Tadjikistan ainsi que trois aéroports au Cambodge : l'aéroport international de Siem Reap et les aéroports domestique et international de

Phnom Penh. Dans le même domaine, outre la Red Line South du métro de Doha au Qatar et les tunnels du projet LRT (Light Rail Transit) du tramway de Lusail au Qatar, la liaison autoroutière CPO1 de 2,6 km également à Lusail, Vinci Construction Grands Projets intervient sur 10 km de tunnels du système de transfert et de stockage d'eaux usées et pluviales, du programme Thames Tideway dans le centre de Londres. La ligne rouge sera la première des quatre futures lignes du métro de Doha, l'un des projets majeurs du Qatar Rail Development Program qui vise à développer les infrastructures de transport du Qatar, notamment dans le cadre de la Coupe du monde de football 2022.

Parmi les projets qui sont arrivés depuis fin 2016 et en 2017, le tronçon T3C de la ligne 15 sud du Grand Paris Express, la phase 3 de la ligne 3 du métro du Caire, le tunnel du Femern de 17,6 km, plus long tunnel immergé routier et ferroviaire du monde entre l'Allemagne et le Danemark, avec des partenaires européens, les demandes sont de plus en plus affinées en ce qui concerne la mise en œuvre du BIM.

13- Station Whitechapel et ouvrages associés du Crossrail à Londres.

14- La Villa Joukovka à Moscou.

15- Maquette couleur par imprimante 3D de la Villa Joukovka à Moscou.

16- Le masque d'immersion assure un rendu en 3D en temps réel d'un projet.

17- Simulation 4D d'un projet aéroportuaire.

© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

14



© MARC MONTAGNON

15



Le BIM était jusque-là plus avancé dans les projets de bâtiments que dans ceux d'infrastructure. La tendance est-elle en train de s'inverser ?

Le BIM est très mature pour tout ce qui concerne le bâtiment. Après avoir structuré en 2015 l'ensemble des données BIM disponibles chez Vinci Construction Grands Projets et développé la démarche en 2016 dans le domaine du bâtiment, l'année 2017 est axée essentiellement sur le secteur des infrastructures.

Parallèlement, nous nous efforçons de faire percoler le BIM au sein de l'entreprise en nous appuyant sur trois dispositions.

Nous avons créé une *BIM meeting room* accessible à tous sur réservation pour se familiariser avec tous les outils du BIM. Nous avons mis en place des formations d'une demi-journée pour toutes les strates du personnel. Enfin, nous organisons toutes les trois semaines des ateliers de sensibilisation d'une vingtaine de personnes sur des thématiques particulières afin de leur permettre de manipuler les outils.

Jusqu'en 2015, la demande du BIM pour des projets d'infrastructure en France était très sporadique. Toutefois, ce ne fut pas le cas pour les deux projets londoniens que je vous ai cités précédemment ainsi que pour les trois chantiers d'infrastructure au Qatar, où l'influence anglo-saxonne a fait émerger le BIM plus tôt qu'en France.

Nous avons constaté une très nette évolution depuis fin 2016. Plusieurs exemples en sont donnés : le cahier des charges de l'appel d'offres pour le métro de Montréal (projet de 4 milliards d'euros comportant 67 km de tunnels et ouvrages divers) comporte des exigences en BIM qui sont extrêmement

« BIM BOOK 2016 » : REVUE DE DÉTAIL

Extension du terminal domestique de l'aéroport de Phnom Penh, Cambodge : 18 mois de travaux, 11 500 m² (2016-2017).

Station CNIT La Défense d'Éole, Paris : 61 mois de travaux, 350 000 m², 1 km de tunnel, 100 % BIM (2016-2021).

Hôtel Mandarin Oriental, Londres : 19 mois de travaux, 12 600 m², 100 % BIM (2016-2018).

Aéroport international de Santiago, Chili : 14 mois de design, 48 mois de travaux, 217 000 m² de nouveaux bâtiments, 60 000 m² de rénovation d'existants, 500 000 m² de plateforme aéroportuaire (2015-2020).

Tour Trinity, La Défense, Paris : 33 mois de travaux, 140 mètres de hauteur, 52 000 m² sur 32 étages, 100 % BIM en phase d'exécution (2015-2018).

Villa Joukovka à Moscou, Russie : 24 mois de travaux, 2 000 m² (2015-2016).

Tunnel Thames Tideway à Londres, Royaume Uni : 85 mois de travaux, 615 000 m² d'excavation, 30 km de tunnels, 100 % BIM en phase d'exécution (2015-2022).

Installation de transfert CP01 à Lusail, Qatar : 22 mois de travaux, 2,4 km de route, 4 sous-stations, 100 % BIM en phase d'exécution (2015-2017).

Station Whitechapel du Crossrail C512 à Londres, Royaume Uni : 72 mois de travaux, 3 lignes ferroviaires, 100 % BIM en phase de construction (2013-2018).

Aéroports de Phnom Penh et Siem Reap au Cambodge : 26 mois de travaux, 57 000 m², modèles 4D As Built d'organisation (2013-2016).

« Red Line South » du métro de Doha, Qatar : 61 mois de travaux, bi-tube de 13,8 km de longueur, 600 000 m² de béton, 20 500 voussoirs, 100 % BIM pour l'étude d'exécution du tunnel (2013-2018).

Tramway « Light Rail Transit » 2C2 & 2C3 à Lusail, Qatar : 65 mois de travaux, 4 lignes de tramways, 10 stations souterraines, 26 stations aériennes, 7,4 km de tunnel.

Pont Atlantic à Colón, Panama : 1 050 m de longueur, pylônes de 212,50 m de hauteur, 42 mois de travaux, 175 000 m³ de béton, 35 000 t d'acier.

Aéroport international de Dushanbe, Tadjikistan : 23 mois de travaux, 12 000 m² (2012-2014).

ambitieuses ; également le projet routier Américo Vesputio à Santiago, au Chili ; en France, les chantiers d'extension d'Éole vers l'ouest et du Grand Paris Express, dont l'un des enjeux est de pouvoir utiliser cette nouvelle technologie pour mieux appréhender ce que sera le projet, ses impacts et son interaction sur l'environnement. Avec les chantiers conçus à l'aide du BIM, nous sommes dans une logique

d'interface en trois dimensions et le fait de disposer très rapidement des maquettes numériques permet de visualiser ce qu'est l'objet dans l'espace, mais aussi d'en décrire les propriétés physiques.

Entre les cahiers des charges d'Éole et ceux, notamment, des lignes 14 et 15 du Grand Paris Express, les demandes des maîtres d'ouvrage ont d'ailleurs évolué et se sont enrichies d'exigences

plus ambitieuses au fur et à mesure de l'avancement des études.

Peut-on déjà dégager une typologie du BIM en matière d'infrastructures ?

Cette typologie peut se décliner en trois approches en fonction des ouvrages concernés.

Celle des gares ferroviaires, des stations de métro, des péages d'autoroute s'apparente à du bâtiment et ne présente pas de problème particulier.

Pour les ouvrages d'art, qu'il s'agisse de tunnels, de ponts ou de viaducs, l'approche est déjà bien maîtrisée car elle s'applique à des structures pour lesquelles on dispose d'outils existants. En revanche, pour les parties linéaires, la mise en œuvre du BIM comporte encore des interrogations en ce qui concerne sa définition : quelle est la signification d'une maquette unique 3D pour un projet linéaire ?

Le Département BIM, dans le cadre de ses activités de recherche et développement de Vinci Construction Grands Projets, étudie de nouveaux outils destinés à mettre en œuvre le BIM sur les nouveaux projets linéaires d'infrastructures.

La réussite d'un processus BIM, ce ne sont pas les exigences « dictatoriales » d'un constructeur, mais l'accompagnement pas à pas d'un architecte, d'un maître d'ouvrage, d'un maître d'œuvre, d'une entreprise dans une démarche progressive de conception et de mise au point d'une maquette numérique 3D qui doit comporter le plus grand nombre possible, voire la totalité des informations disponibles et utiles à la conception, la réalisation et la maintenance dans le temps d'un ouvrage, qu'il s'agisse de construction de quelque nature qu'elle soit. □



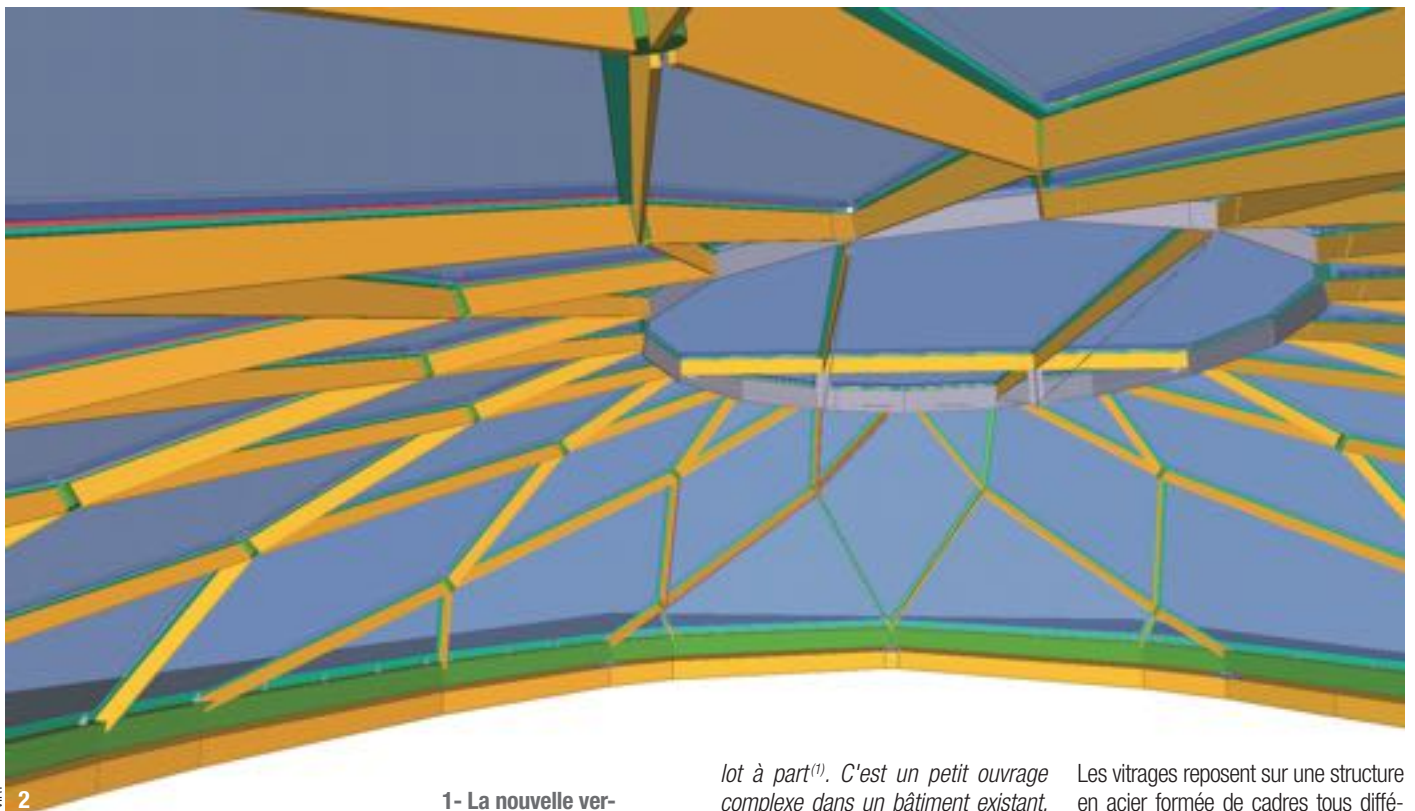


VERRIÈRE EULER

LA DÉMARCHÉ BIM APPLIQUÉE À UN PETIT OUVRAGE

ENQUÊTE DE MONIQUE TRANCART

LA RECONSTRUCTION DE LA VERRIÈRE DE L'IMMEUBLE EULER, À PARIS, A ÉTÉ L'OCCASION DE DÉMONTRER QUE LE BIM PEUT ÊTRE APPLIQUÉ À PETITE ÉCHELLE, ICI SUR UN OUVRAGE COMPLEXE.



© VIRY

La verrière de l'immeuble Euler a été réalisée dans une démarche BIM. C'est ce qui lui a valu d'être reconnue "meilleur projet de petite taille" par l'éditeur de logiciels Tekla, lors de ses Global Awards en 2016. À l'époque des travaux, en 2014, le BIM n'était pas si courant. C'est la seule partie de l'immeuble à l'avoir suivi. « Nous nous sommes portés volontaires », explique Jean-Pierre Tahay, directeur général de Viry qui l'a réalisée. C'était pour nous l'occasion de tester la méthode de travail avec le BIM. La verrière était une partie isolée du grand chantier de rénovation, elle formait un

1- La nouvelle verrière de l'immeuble Euler (Paris) constituait un lot à part du grand chantier de rénovation, idéal pour tester le BIM.

2- Image simplifiée de la verrière, tirée du BIM : en jaune, côté vertical de chaque cadre métallique en T avec les ronds (cylindres) d'assemblage. En vert, face horizontale des cadres qui supporte le vitrage avec, en rouge, le joint caoutchouc sur la structure en acier. En bleu, les vitrages.

lot à part⁽¹⁾. C'est un petit ouvrage complexe dans un bâtiment existant, dans une zone de travail limitée. La géographie des lieux s'y prêtait. Nous n'avions que deux lots en interfaces : l'électricité pour le passage de câbles et le génie civil car la verrière repose sur une couronne en béton modifiée par Dumez dont nous étions sous-traitants. Nous leur avons remis une synthèse de notre partie. »

La verrière qui couvre la cour intérieure, a été conçue pour réfléchir la lumière vers l'intérieur. Elle prend la forme d'un diamant à multiples facettes. L'inclinaison de son axe augmente encore ses performances.

L'ancienne verrière, bien qu'elle apportait de la lumière naturelle, n'avait pas ces qualités.

Les vitrages reposent sur une structure en acier formée de cadres tous différents car aucune facette du diamant n'a la même taille ni la même orientation. Les cadres sont soudés à leur point de convergence sur des ronds (cf. dessin).

COLLABORATION ENTRE DEUX SERVICES

En interne, deux services de Viry ont collaboré en BIM, sur la même maquette en 3D. Le service structures a établi un premier dossier de l'ossature métallique à partir du dessin de Bouchaud Architectes. Il a communiqué cette maquette 3D à ceux chargés de l'enveloppe vitrée. Ces derniers pouvaient vérifier que l'étanchéité était bonne ou signaler qu'un fer ne convenait pas par manque de surface d'appui. ▶



LES 9 MEILLEURS BIM DE TEKLA

Trimble a décerné neuf prix ou mentions à des réalisations en BIM dans le monde, en septembre 2016, dont la rénovation de la verrière Euler à Paris (cf. ci-contre). Voici la liste des lauréats par catégorie.

Projet BIM et commercial : Campus Thales, Bordeaux, groupe GA.

Projet public : Just, centre social et de santé en Finlande.

Industriel : extension d'un entrepôt SIDC, à Christchurch en Nouvelle-Zélande, Holmes Consulting Group.

Infrastructure : ligne de train Ordsall Chord à Manchester, Angleterre, Northern Hub Alliance.

Sports et détente : Sportcampus Zuiderpark à La Haye, Pays-Bas, Oostingh Staalbouw Katwijk.

Petite taille : verrière Euler à Paris, Viry (groupe Fayat).

Étudiant : modèle du Lodz City Gate, Université polytechnique de Lodz, Pologne.

Mention spéciale : pont suspendu Izmit Bay, Turquie, Cimtas.

Prix du public : terminal Eversendai's Midfield de l'aéroport d'Abu Dhabi.

Trimble (États-Unis) édite des logiciels BIM dont le Tekla Model Sharing et développe des outils de réalité virtuelle.

Si cela avait été le cas, il aurait fallu élargir le fer et à une certaine dimension que le second service aurait précisée au premier. Ainsi, les deux opéraient-ils des va-et-vient afin d'ajuster le projet.

AUCUNE RECTIFICATION SUR CHANTIER

« Nous avons analysé si le BIM allongait le temps de travail, ajoute Jean-Pierre Tahay. Je suis enclin à penser que nous avons mis un temps équivalent, et comme c'était notre premier projet en BIM de petite taille, nous en gagnerons à l'avenir. Nous n'avons pas eu besoin de recourir à des outils spécifiques. Notre logiciel de structure métallique Tekla est compatible avec la maquette numérique. Dans un projet

plus important, nous pouvons y associer des logiciels compatibles, grâce à des passerelles. »

Fin 2014, avant de s'attaquer à la verrière, Viry venait de terminer en pré-BIM la Canopée des Halles à Paris (2012-2014) avec une grande maquette assez élaborée. « Nous avons trouvé un intérêt à cette méthode et avons tout de suite embrayé, poursuit M. Tahay. C'est très intéressant d'avoir un modèle unique qui représente l'ouvrage dans sa globalité. Nous avons accès à toutes les données du projet, les nôtres et celles de l'extérieur. Nous percevons le BIM plus comme une opportunité que comme une contrainte. Nous n'avons eu aucun problème à la pose de la verrière Euler entre le béton et l'acier, aucune rectification sur chantier. »



3

CHARTRE BIM COMPLÈTE

Aujourd'hui, Viry participe, sous chartre BIM complète selon la volonté de l'architecte Renzo Piano, à la construction de l'École normale supérieure de Cachan qui s'installe à Saclay (Essonne). Par ailleurs, l'entreprise établit sa maquette numérique d'auvents métalliques à partir de celle des architectes pour le centre commercial Cap 3000 à Nice.

Côté Bouchaud Architectes, le projet avait démarré fin 2012, sans BIM. En 2017, l'agence a mis le BIM à l'honneur en affichant un B en 3D sur sa carte de vœux. Elle travaille actuellement sur deux projets de réhabilitation de bureaux avec cette démarche. □

1- Montant du lot verrière : 601 500 euros.

3- La lumière naturelle est privilégiée dans la réhabilitation de l'immeuble Euler (Paris 8^e). Ici, rez-de-chaussée éclairé par la nouvelle verrière.

4- L'ancienne verrière, octogonale, à pilier central.

IMMEUBLE FLAMBANT NEUF DE 1959

La rénovation de la verrière de l'immeuble Euler (Paris), menée à travers une démarche BIM (cf. ci-contre), est un des éléments qui donnent au bâtiment de 1959 des caractéristiques proches de celles du neuf. Elle retient les calories à l'intérieur, fait obstacle à une partie du rayonnement solaire tout en éclairant naturellement le rez-de-chaussée.

Eurosic, maître d'ouvrage, estimait indispensable d'avoir un bâtiment très performant pour louer 12 500 m² dans le quartier des Champs-Élysées.

L'immeuble situé à l'angle des rues Euler et Bassano, obtient, après réhabilitation terminée en avril 2015, le label Bâtiment basse consommation rénovation et les certifications Haute qualité environnementale niveau excellent (Certivea), Breeam very good (Royaume-Uni) et Leed, gold (Amérique du Nord).

À côté de la verrière, voici quelques exemples de dispositifs mis en œuvre afin d'obtenir ces reconnaissances. Le bâti de 10 niveaux plus 2 sous-sols a été isolé par l'extérieur. Toutes les menuiseries en aluminium ont été changées pour des modèles isolants thermiques et acoustiques. L'éclairage est variable. La lumière naturelle est privilégiée. Par exemple, des 5 escaliers de secours, 2 sont extérieurs, 2 ont des fenêtres, le dernier est aveugle.

25 MILLIONS D'EUROS

Les eaux de pluie sont récupérées et utilisées pour les chasses d'eau et l'arrosage. Des terrasses intermédiaires sont végétalisées.

L'immeuble est raccordé au réseau de chaleur et de froid avec 19°C de consigne en hiver et 26°C en été. Une partie de l'eau chaude sanitaire est fournie par des capteurs solaires thermiques. Sans oublier la desserte en transport en commun du quartier.



4

MINⁿD

LE PROJET DE RECHERCHE NATIONAL MINⁿD : AVANCÉES ET PERSPECTIVES

AUTEURS : PIERRE BENNING, DIRECTEUR INFORMATIQUE TECHNIQUE, CHEF DE PROJET MINⁿD, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS -
CHRISTOPHE CASTAING, DIRECTEUR DU PROGRAMME INGÉNIERIE NUMÉRIQUE, CHEF DE PROJET MINⁿD, EGIS SA

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 PERSPECTIVES TECHNOLOGIQUES ET PROCÉDURALES, AINSI QUE DES RÉFLEXIONS SUR LES ASPECTS CONTRACTUELS ET JURIDIQUES ENGENDRÉS PAR CE NOUVEL ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL COLLABORATIF. TROIS ANNÉES APRÈS SON DÉMARRAGE, NOUS ALLONS RÉSUMER LES AVANCÉES DE CE PROJET ET LE REMETTRE EN PERSPECTIVE DANS SON CONTEXTE INTERNATIONAL...

INTRODUCTION

Lors de la précédente édition « spécial BIM » de la revue *Travaux* en septembre 2015, nous avons présenté les objectifs de MINⁿD, ainsi que la gouvernance et la méthodologie de travail. Deux ans plus tard, les réflexions et les résultats sont particulièrement bien avancés et représentatifs du dynamisme de la profession en termes de BIM pour les infrastructures, mais aussi en termes de nouvelles technologies digitales. En effet, le scope de MINⁿD s'est élargi significativement pour couvrir de nouveaux aspects imposés par la poussée du numérique dans le secteur de la construction. Les acteurs de notre secteur ont pris conscience d'une nouvelle richesse : la donnée structurée !

La montée en puissance de nos différents groupes de réflexion nous permet d'aborder en profondeur des sujets concrets, comme la revue de projet ou le DOE numérique, mais aussi des sujets de prospective sur les ontologies, l'ingénierie systèmes ou la réalité



virtuelle, afin de réaliser les infrastructures de demain sur lesquelles rouleront bientôt des véhicules autonomes. Cet article redonne une vue globale sur

l'ambition du projet MINⁿD, les premiers résultats de la première tranche, les avancées de la deuxième tranche en cours, ainsi que la mise en perspective

des travaux dans un cadre international. Les avancées sont remarquables, liées à la maturité des groupes de travail, mais aussi à l'arrivée de nouveaux partenaires qui viennent enrichir les points de vue et apportent leur expertise à la communauté des chercheurs mobilisés.

AMBITIONS DU PROJET MINⁿD

Le programme de recherche initial était ambitieux (Voir revue *Travaux* « Spécial BIM » de septembre 2015) :

- Structurer les informations à échanger ;
- Définir les besoins d'outils logiciels à développer ;
- Faire des préconisations de plateformes collaboratives ;
- Faire des propositions de modification de la réglementation.

Ce programme a quelque peu évolué pour s'adapter à la réalité du marché, qui n'a pas attendu pour exiger « conception et construction » dans le cadre de démarches BIM.



Les 4 thèmes de réflexion (figure 3) sont maintenant engagés, étayés par une veille technologique permanente, un observatoire pérenne des évolutions de la profession et des connaissances sur la maquette numérique.

Cet observatoire permet de rassembler professionnels et académiques, en facilitant la montée en connaissance et en compétences de l'ensemble des acteurs.

→ **Le thème 1** « Mise en perspective des pratiques » aborde les problématiques associées au travail collaboratif.

2- Le périmètre du projet MINND : les infrastructures.

3- Le programme de recherche de MINND.

2- Scope of the MINND project: Infrastructure.

3- The MINND research programme.

→ **Le thème 2** « Expérimentation » est le centre des démonstrations et des mises en œuvre de résultats de recherche.

→ **Le thème 3** « Structuration des données » traite des sujets d'organisation des informations.

→ **Le thème 4** « Aspects juridiques et contractuels » est centré sur les aspects légaux impactés par l'arrivée du numérique dans nos professions.

La liste actuelle des participants est composée de plus de 60 partenaires motivés : constructeurs, ingénieristes,

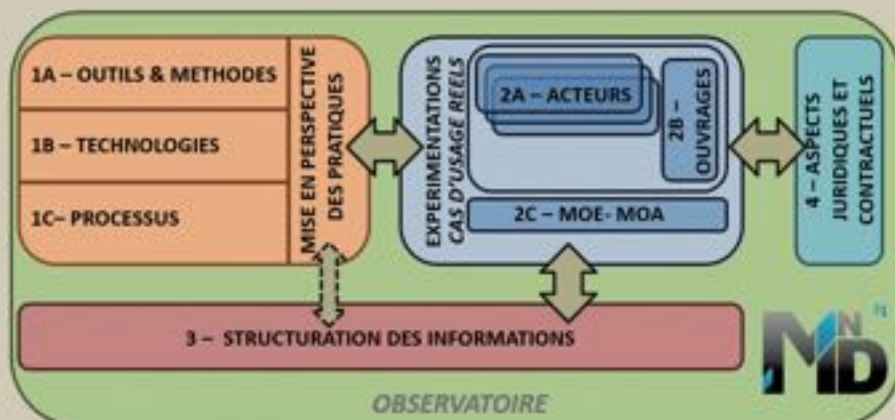
éditeurs de logiciels français et internationaux, universitaires, laboratoires, fédérations, donneurs d'ordre et cabinets conseil (liste complète consultable sur www.minnd.fr).

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.

L'objectif principal de la première tranche était de lancer des groupes de réflexion autour de cas d'usage représentatifs de nos métiers, c'est-à-dire des sujets parfaitement maîtrisés de manière traditionnelle. Le but était alors de revisiter ces cas d'usage (UC) en tenant compte des technologies digitales induites par l'utilisation de la maquette numérique et des processus BIM. Ce fut aussi l'occasion de faire monter en compétence les partenaires du projet sur ces aspects numériques, effort indispensable pour avoir un niveau homogène de connaissances afin de partager une même vision du futur. Les travaux de cette première tranche se sont étalés de mi 2014 à mi 2016, pour un budget total de 1,25 M€.

Le périmètre d'étude est vaste et concerne les infrastructures (figure 2), c'est-à-dire l'ensemble des ouvrages constituant la fondation et l'implantation sur le sol d'une construction ou d'un ensemble d'installations (par exemple routes, voies ferrées, aéroports), ▷

LE PROGRAMME DE RECHERCHE DE MINND





4 © MIN²D

mais aussi l'ensemble des installations et équipements nécessaires à une collectivité.

Cette première tranche a mobilisé de nombreux partenaires, dont la liste s'est enrichie chaque mois pour dépasser actuellement plus de 60 membres impliquant plus de 250 participants aux actions de recherche (figure 4). Cela est particulièrement significatif de la mobilisation et de la prise de conscience du secteur, ainsi que de la demande forte et émergente pour les technologies numériques prometteuses.

La dernière Assemblée Générale a même démontré et proclamé que MIN²D était le projet de recherche international le plus actif dans ce domaine : « MIN²D, c'est ici que ça bouge ! ».

RÉSULTATS DE LA TRANCHE 1

Un projet de recherche ne vaut que par la quantité mais surtout la qualité des livrables issus des groupes de travail. Ils ne sont pour l'instant accessibles qu'aux partenaires de MIN²D, mais, étant donnée la rapidité de l'obsolescence des nouvelles techniques et de la profusion des publications sur ces sujets, il est question de mettre en ligne au plus tôt cette documentation riche et pertinente.

14 livrables ont été validés à ce jour, pour un total de plus de 800 pages. La plupart est disponible en français, mais une part significative est également disponible en anglais, afin d'être partagée avec la communauté internationale, avide de nos résultats afin de faire progresser l'ensemble du secteur. La liste des livrables est disponible sur le site internet www.minnd.fr et en particulier une synthèse des travaux de recherche de la tranche 1, accessible en français et en anglais (onglet « publications ») (figure 5).

Le propos n'est pas ici de faire une liste détaillée des premiers livrables disponibles, mais d'expliquer leur raison d'être : ces livrables sont la « matière première » qui alimente les thèmes de réflexion de la tranche 2 de MIN²D.

Bien-sûr, certains de ces livrables ne sont pas totalement aboutis et nécessitent encore d'être approfondis, car les cas d'usage considérés n'ont pas pu être entièrement traités en tranche 1. Ces cas d'usage seront donc reconduits, mais les premiers résultats

4- La liste actuelle des partenaires de MIN²D.

5- La synthèse des travaux de la tranche 1 de MIN²D.

4- The current list of MIN²D partners.

5- Summary of work in section 1 of the MIN²D.



5 © MIN²D

formalisés permettent d'entamer de vraies recherches, à la fois concrètes et scientifiques, qui feront progresser rapidement les démarches logiques des partenaires mobilisés.

Parmi les 14 documents livrés, nous insisterons sur les 6 livrables suivants :

- Une approche holistique de l'ingénierie des infrastructures (UC1) qui démontre la pertinence d'une approche système de nos métiers en mettant au centre l'ingénierie des exigences. Ce livrable sera bien sûr étayé et complété en tranches suivantes, mais il donne une bonne idée de la montée en puissance des analyses et raisonnements conduits au sein des groupes de travail.
- Le cycle de vie des chaussées (UC2) qui livre une première structuration des données nécessaires à la conception, la construction et l'exploitation des chaussées. Ce livrable a vocation à déboucher sur une ontologie des chaussées, qui permettra de mieux appréhender ce métier dans sa globalité, et de donner une méthodologie de structuration applicable aux autres domaines des infrastructures et à l'approche des *linked data*.
- Les IFC pour les ouvrages d'Art (UC3) dont les premiers documents publiés (*Data Dictionary* et *Information Delivery Manual*) sont la base des développements en cours dans le projet international Buildingsmart International IFC Bridge (figure 7).
- La revue de projet (UC4), dont les résultats exhaustifs ont permis de mieux comprendre les objectifs de cette revue et d'en déterminer les processus à mettre en œuvre dans le contexte d'un environnement numérique au sein d'une démarche BIM (figure 6).

UNE VISION EXHAUSTIVE DES SUJETS TRAITÉS PAR LA REVUE DE PROJET (MIN^D UC4)



© MIND
6

- La maîtrise des coûts (UC5), dont les 4 sous-livrables ont détaillé la pertinence de l'utilisation d'une maquette numérique pour mieux contrôler les coûts d'un projet, au fur et à mesure de la progression du niveau de développement d'un projet.
- Enfin, le cas d'usage Infrastructure et Bruit (UC6) a également livré un document remarquable sur les besoins en terme de transparente

écologique, afin de mieux insérer un projet dans son contexte environnemental (figure 8).

La cohérence de l'ensemble manque encore de structure, puisque chaque document est autoporteur et traite d'un sujet spécifique. Mais leur valeur est considérable sur les plans quantitatif et qualitatif.

Cela démontre la volonté des membres du projet MIN^D de pousser au plus loin les analyses, dans le but de faire pro-

gresser les raisonnements des tranches suivantes, dont la deuxième tranche qui se terminera fin 2017.

Le COPIL de MIN^D va s'attacher à valoriser ces documents auprès du secteur de la construction, en France et en Europe, dans les prochains mois.

AVANCÉES DE LA TRANCHE 2

La tranche 2 du projet MIN^D a été lancée à la mi-2016, et se terminera fin 2017.

C'est bien sûr la continuité de la première tranche, dédiée principalement à l'étude de cas d'usage traités de manière traditionnelle et représentatifs de grands projets d'infrastructure. Cette nouvelle tranche se caractérise par la montée en puissance du programme de MIN^D, à savoir les 4 grands thèmes présentés au premier chapitre, qui peuvent désormais s'appuyer sur les premiers résultats livrés en tranche précédente.

6- Une vision exhaustive des sujets traités par la revue de projet (MIN^D UC4).

7- Vue 3D d'un ouvrage d'art de franchissement d'une autoroute.

8- Simulation des aménagements d'écoponts sur l'A64 - MIN^D UC6.

6- An exhaustive view of the subjects covered by the project review (MIN^D UC4).

7- 3D view of a bridge structure crossing a motorway.

8- Simulation of eco-bridge developments on the A64 - MIN^D UC6.



© EGS
7

SIMULATION DES AMÉNAGEMENTS D'ÉCOPONTS SUR L'A64 - MIN^D UC6



Modèle 3D de l'écopont, setec



Écopont de l'A64, photo : TerrOiko

© SETEC ET TERROIKO
8

De plus, l'étude approfondie de certains des cas d'usage de la tranche précédente a été reconduite. L'arrivée de nouveaux partenaires, mais aussi des interrogations sur des sujets connexes non traités, a provoqué l'apparition de nouveaux cas d'usage qui sont abordés actuellement :

Le thème 1 « Mise en perspective des pratiques » se focalise activement sur 4 sujets :

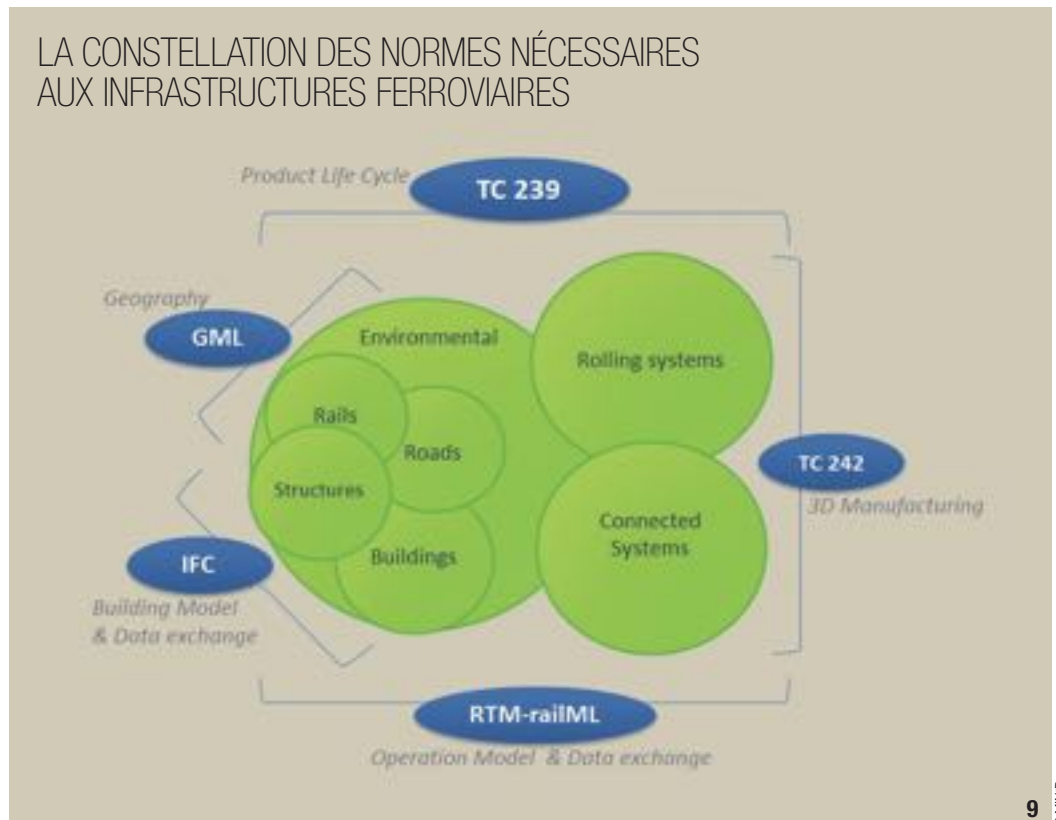
- L'écriture d'un guide de déploiement BIM sur un projet d'infrastructure, à savoir un document exhaustif pour faciliter la mise en œuvre d'une démarche BIM pour un projet de grande longueur ou de grande étendue, dans un environnement numérique multi-logiciels ;
- L'écriture d'une trame de BIM Execution Plan dédié aux projets d'infrastructure, dérivée de documents existants (et en particulier du Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM livré par Mediaconstruct en avril 2016) ;
- Les nouvelles technologies disponibles, abordant des sujets divers dont les relevés numériques, la réalité virtuelle et augmentée, la connexion avec le SIG...

→ La gestion des incohérences, déclinant les aspects techniques, organisationnels et managériaux.

Le thème 2 « Expérimentations », dont l'objectif est de réaliser des tests d'outils, de méthodes et de simulations de processus sur des cas d'usage réels. Les premiers sujets en cours traitent des axes de référence (IFC Alignment) nécessaires à l'implantation générale des projets linéaires et des ouvrages d'art en particulier, des standards développés (CityGML) ou en cours de développement (InfraGML), mais aussi des données géologiques ou géotechniques qui se prêtent mal à une modélisation BIM (par exemple, la notion d'incertitude liée à l'interpolation entre des sondages n'est actuellement pas intégrée dans les modélisateurs 3D existants).

Le thème 3 « Structuration des données », à partir des résultats de la tranche 1, s'attache à proposer des réponses globales ou particulières à la problématique de la modélisation des informations des infrastructures. MIN²D possède cette spécificité de doubler la réflexion par cas d'usage d'approche holistique pour la compréhension d'une infrastructure. Ce thème est sans doute ambitieux et conceptuel, mais fait cruellement défaut dans tous les développements en cours dans le monde. L'apport de MIN²D à partir de ces réflexions

LA CONSTELLATION DES NORMES NÉCESSAIRES AUX INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES



est clairement reconnu et a permis la mise en place d'un groupe de travail commun bSI et OGC pour définir une feuille de route commune à l'horizon 2020, en phase avec les travaux menés par le thème 2. Elle va permettre également des travaux avec l'AFNET, pour lancer des démarches communes dans l'AFNOR et dans le CEN pour le rap-

prochement des normes d'échanges dans la construction et dans l'industrie manufacturière, tel que sur STEP 239 pour le cycle de vie, STEP 242 pour les modèles 3D ou RailTopoModel (RTM) pour la phase exploitation des réseaux de transport (figure 9). Les travaux vont s'orienter également vers la définition des ontologies néces-

saires à la redéfinition des concepts de niveaux d'informations LOx (Level Of Development, Level of Detail, Level of Information) pour les infrastructures, mais aussi à l'élaboration des nouveaux services qu'apporteront demain nos réseaux routiers aux véhicules autonomes au travers de l'utilisation des données publiques (OpenData) et



9- La constellation des normes nécessaires aux infrastructures ferroviaires.

10- Les aspects contractuels du point de vue MIN²D.

9- The constellation of standards needed for railway infrastructure.

10- Contractual aspects of the MIN²D viewpoint.

des technologies liées aux *linked data*.
Enfin le thème 4 « aspects contractuels et juridiques », lancé dès le démarrage de MIN²D en raison de son actualité pressante, aborde les sujets des relations contractuelles impactées par le BIM, les sujets de responsabilités et d'assurances, ou de propriété intellectuelle de la maquette numérique et de sa base de données associée (figure 10).

Quant aux cas d'usage, ils restent toujours les fondements majeurs des réflexions, car ils alimentent de manière concrète les thèmes plus conceptuels. En particulier le nouveau groupe de travail « e-management du territoire » (UC7), accolé à l'UC5 « Maîtrise des coûts », esquisse actuellement les prémisses de la réception numérique d'un ouvrage (DOE numérique), mais aussi les possibilités de liens entre BIG Data et GMAO pour améliorer la fiabilité de l'évaluation du coût du cycle de vie d'une infrastructure.

Tous ces groupes de travail réguliers organisent des séminaires et des restitutions de leurs résultats pertinents déjà atteints, afin de dynamiser les recherches en captant de nouvelles pistes de réflexion et en élargissant le scope des connaissances de l'ensemble des participants.

Cette deuxième tranche est une réelle montée en puissance des groupes de réflexion, d'une part grâce au niveau désormais presque homogène de connaissance des membres du projet sur les technologies numériques disponibles et, d'autre part, par le foisonnement d'idées issues des premiers livrables remarquables de la tranche 1 qui ont permis de souder les équipes et de lancer une dynamique enthousiaste.

FOCUS SUR LE THÈME « OBSERVATOIRE »

L'Observatoire est un « thème enveloppe », garant de la dynamique glo-



11
 © MIN²D

11- Le thème Observatoire, garant de la dynamique globale de MIN²D.

12- L'annonce de l'édition 2017 d'EDUBIM.

11- The Observatory theme, ensuring the overall dynamic of MIN²D.

12- Announcement of the 2017 edition of EDUBIM.

bale, supportant ce projet de recherche en valorisant les résultats, mais aussi fortifiant le niveau des connaissances, en particulier grâce aux séminaires bimestriels qui traitent de sujets variés et conceptuels, afin d'élargir le cadre de réflexion des chercheurs.

Ces séminaires sont ouverts à tous et laissent la parole à des experts de disciplines connexes au programme de recherche de MIN²D (Ontologies, Ingénierie des systèmes, organisation d'un MOOC...) (figure 11).

L'observatoire aborde également quelques problématiques transverses, comme les indicateurs de performance (performance des outils numériques dans le secteur de la construction, mais aussi performance des sociétés qui se sont lancées dans la démarche du BIM), ou bien comme les nouveaux métiers (métiers émergents dans ces domaines, comme le BIM Manager ou le BIM Contributeur, dont les missions sont encore mal appréhendées et dont les responsabilités sont encore mal définies).

Il faut noter tout spécialement le pilotage de l'initiative annuelle EDUBIM, dont la qualité des deux premières éditions en ont fait un incontournable de la communauté des enseignants français,

dont les attentes sont fortes vis-à-vis des sachants et des utilisateurs finaux. C'est un lieu de rencontres et d'information, d'échanges et de dialogue, qui permet de mieux discerner les besoins du secteur de la construction et donc de mettre au point les programmes pédagogiques en accord avec la demande pressante en BIM Management sur les grands projets qui démarrent (en particulier le projet du Grand Paris, qui impose l'utilisation du BIM sur l'ensemble des lots attribués à ce jour) (figure 12).

La nouvelle Édition EDUBIM 2017 prend d'ailleurs une nouvelle dimension internationale, avec son traditionnel appel à présentation *call for papers*, qui va autoriser une sélection des interventions et donc apporter un contenu scientifique notable pour accroître sa crédibilité et sa visibilité sur le plan européen et mondial. Il faut également souligner qu'EDUBIM est à l'origine d'une communauté européenne d'enseignants du BIM, qui rend possible une homogénéité des programmes d'enseignement, et donc une éventuelle certification internationale des étudiants et des enseignants, mais aussi une émulation indispensable à la communauté pour favoriser l'attractivité de ces nouveaux métiers en plein essor.

FOCUS SUR LES IFC

Concernant le domaine des IFC (Industry Foundation Classes, décrivant les objets normalisés utilisés dans le monde de la construction), MIN²D a une excellente renommée internationale. Le projet MIN²D est souvent cité par les experts IFC mondiaux comme l'exemple à suivre de la mobilisation d'un secteur en cours de mutation.

En effet, les experts œuvrant dans ces domaines sont principalement des chercheurs académiques et des éditeurs de logiciels. Il est extrêmement rare de trouver dans les groupes de travail des utilisateurs finaux, c'est-à-dire des ingénieurs opérationnels qui expriment des besoins engendrés par la pratique et par des projets d'infrastructure réels en cours ou à venir.

La légitimité et la représentativité de MIN²D prennent alors toute leur puissance, puisque ses acteurs sont presque exclusivement des ingénieristes, des constructeurs, des exploitants ou des maîtres d'ouvrage, en situation de définir les spécifications techniques attendues par les outils fournis par les éditeurs de logiciel, ainsi que le contenu des normes internationales discutées au sein du CEN ou de l'ISO.



12
 © MIN²D

De même, loin des guerres de chape, MIN²D cherche à rassembler dans une même dynamique les travaux de buildingSMART international et ceux de l'OGC (Open Geospatial Consortium). Sous l'égide de MIN²D, un MOU (Memory Of Understanding) entre ces deux organisations a d'ailleurs été signé, afin d'allier les experts dans une démarche de structuration commune, ou tout du moins parfaitement interoperable, des données géo-spatiales indispensables à tout projet d'infrastructure. Plus fort encore, et au-delà des IFC-Bridge dédiés aux ouvrages d'art, MIN²D est à l'origine ou partie-prenante de plusieurs initiatives IFC internationales en cours ou sur le point d'être lancées (figure 14), et qui concernent les développements pour les domaines représentatifs des infrastructures que sont :

- Les entités IFC-Alignment, nécessaires à l'implantation de tout projet linéaire routier ou ferroviaire, mais aussi aux ouvrages d'art supportant ces voies ou aux tunnels les accueillant. Dans ce sujet, MIN²D est force de proposition mais aussi la référence internationale où sont expérimentées les premières implémentations dans les outils des éditeurs.

- Les entités IFC-Rail, nécessaires à la définition des infrastructures ferroviaires et à leurs équipements. MIN²D est partenaire de l'accord international signé en avril 2017 à l'occasion du sommet international buildingSMART à Barcelone, avec des organismes prestigieux dont buildingSMART International, China Rail BIM Alliance (CRBA), SNCF, Deutsche Bahn, OBB Infrastruktur, Schweizerische Bundesbahnen, Trafikverket. L'accord a pour objet de développer une extension des IFC au domaine ferroviaire, en tirant parti des travaux antérieurs qui peuvent être efficacement combinés et harmonisés pour parvenir à un ensemble unifié d'exigences et de spécifications techniques utilisables par les fournisseurs de logiciels. Afin de consolider le suivi des travaux réalisés au niveau international, MIN²D a lancé un groupe de travail miroir « MIN²D4Rail » au sein duquel s'est joint Railenium (figure 13) ;
- Les entités IFC-Road, nécessaires à la définition des infrastructures routières ou autoroutières et à leurs équipements. Ce projet sera piloté par buildingSMART Corée ;

- Les entités IFC-Tunnel, nécessaires à la définition des infrastructures souterraines. Ce projet est en cours de gestation et devrait être lancé très prochainement, d'abord dans un périmètre français, sous l'égide de l'ANDRA, puis dans un périmètre international, afin d'asseoir les spécifications dans contexte global qui permettra sa normalisation.

Pour mener à bien ces développements, il faut définir chaque objet dans son contexte, mais surtout délimiter le domaine considéré. Une des premières missions de ces différentes initiatives est donc de parfaitement définir leur périmètre d'étude, afin d'éviter toute redondance ou débordement sur un domaine connexe.

C'est pourquoi les premiers résultats de MIN²D qui ont établi des méthodologies de réflexion et de définition, mais qui ont aussi prouvé la pertinence de l'ingénierie système, prennent tout leur sens. Toutes ces initiatives IFC travaillent actuellement sur des dictionnaires de données structurées⁽¹⁾ avec une vision « systèmes » qui répondent à des fonctions, dans le but d'établir les liens qui unissent les objets entre eux. La maturité acquise par les acteurs de MIN²D depuis plus de 2 années maintenant est une force décisive et un atout majeur pour orienter les développements internationaux en cours. La reconnaissance des spécialistes internationaux est indéniable : les experts français sont appréciés et attendus pour y prendre toute leur place incontournable.

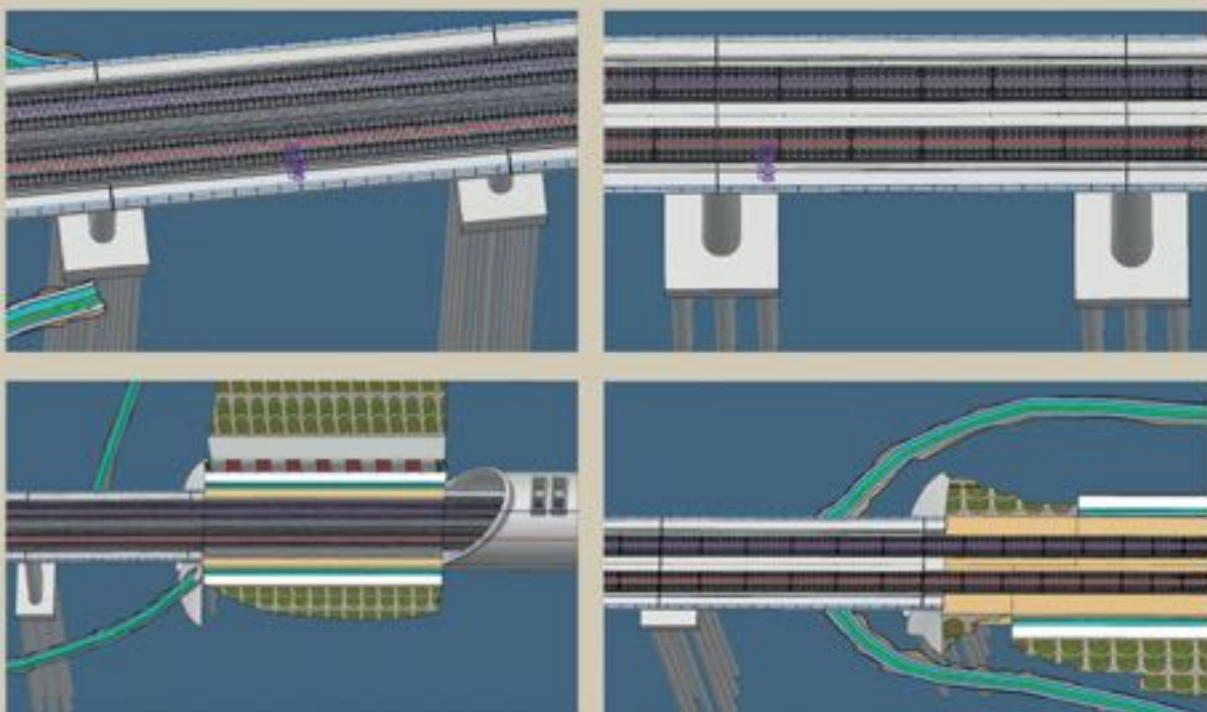
13- Expérimentation d'IFC-Alignment par CRBA.

13- IFC Alignment expérimenting by CRBA.

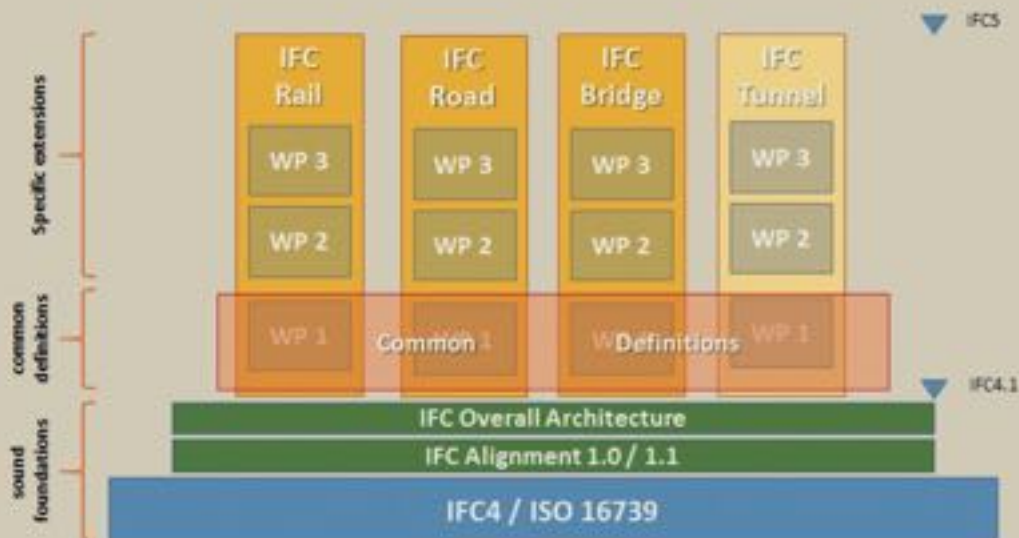
MISE EN PERSPECTIVE ET CONCLUSIONS

Le projet de recherche MIN²D est un organe unique de réflexion dans le domaine mondial des infrastructures. Ce projet est souvent jalouxé par nos pays voisins, par son ambition, par la mobilisation forte de ses partenaires, par sa gouvernance efficace et par ses premiers résultats exceptionnels.

EXPÉRIMENTATION D'IFC-ALIGNMENT PAR CRBA



LA FEUILLE DE ROUTE DE DÉVELOPPEMENT DES IFC POUR LES INFRASTRUCTURES



© BUILDINGSMART INTERNATIONAL

14

Aujourd'hui, certains considèrent MIN^D comme l'équivalent du PTNB (Plan de Transition Numérique du Bâtiment) pour les infrastructures.

Il est effectivement regrettable qu'aucune initiative gouvernementale du même ordre que le PTNB n'ait été lancée pour les infrastructures. Néanmoins, la forte mobilisation des parties prenantes dans le projet MIN^D, désormais largement représentative de tout le secteur de la construction français, démontre la prise de conscience de l'ensemble de la chaîne de valeur de la pertinence du BIM et de ses enjeux concurrentiels sur le plan mondial.

En contrepartie, la non-ingérence de l'État dans le comité de pilotage et sa

14- La feuille de route de développement des IFC pour les infrastructures.

14- The roadmap for developing IFCs for infrastructure.

faible subvention rendent la gouvernance de MIN^D simple, saine et sans enjeux de pouvoir. Il s'agit d'une dynamique prospective et visionnaire, mais

qui s'oblige dès ses premiers travaux et résultats à faire monter significativement en compétence les acteurs qui se sont mobilisés et investis.

Concernant d'ailleurs les livrables d'ores et déjà disponibles, le comité de pilotage cherche le moyen de mieux distribuer les connaissances acquises auprès de l'ensemble du secteur français de la construction.

En effet, cette démarche BIM ne pourra être efficace que si toute la corporation adhère et coopère en utilisant des processus communs et des plateformes collaboratives partagées par projet. L'édition d'un livre est donc déjà à l'étude, même si le programme de recherches est loin d'être finalisé et s'il

reste encore près de 2 ans de travaux. Se pose aujourd'hui également la question de l'après MIN^D... Comment animer et faire perdurer la communauté ainsi constituée ? Évidemment, les travaux ne seront pas tous aboutis ou, du moins, ils auront impacté d'autres sujets connexes non encore abordés ou engagés, voire ceux qui seront apparus d'ici quelques mois.

Le COPIL entend dès maintenant une réflexion pour assurer la pérennité de cet organe dynamique de recherche, nécessaire à la réalisation des travaux engagés ou à entreprendre. □

1- À noter que les travaux conjoints MIN^D et Media-Construct menés dans le Plan de Transition Numérique du Bâtiment ont été réutilisés à ce sujet.

ABSTRACT

THE MIN^D NATIONAL RESEARCH PROJECT: PROGRESS AND PROSPECTS

PIERRE BENNING, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - CHRISTOPHE CASTAING, EGIS SA

The MIN^D (French acronym for "interoperable information modelling for sustainable infrastructure") is a national research project approved by the French Ministry of the Environment, Energy and the Sea. This project will, in particular, be France's contribution to the international infraROOM initiative (within the framework of buildingSMART), by providing the methodology for defining infrastructure-dedicated objects, and the special regulatory requirements for French infrastructure. The aim is to define the ontological dictionaries needed to define the model for data handled by engineering and construction firms, to allow for changes in the emerging digital processes and technologies in our industry, but also to influence changes in the French regulations to take into account digital models in tenders and contracts for infrastructure projects. □

EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN NACIONAL MIN^D: PROGRESOS Y PERSPECTIVAS

PIERRE BENNING, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - CHRISTOPHE CASTAING, EGIS SA

El Proyecto Nacional MIN^D (Modélisation des Informations Interopérables pour les Infrastructures Durables, o Modelización de los datos interoperables para las infraestructuras sostenibles) es un proyecto de investigación reconocido oficialmente por el Ministerio francés de Medio Ambiente, Energía y Mar. Entre otras cosas, este proyecto supone la contribución de Francia a la iniciativa internacional infraROOM, en el marco de buildingSMART, a la que aporta la metodología de definición de los objetos dedicados a las infraestructuras, así como las especificidades reglamentarias de las infraestructuras francesas. Su objetivo es definir los diccionarios ontológicos necesarios para la definición del modelo de datos manipulados por las empresas de ingeniería y construcción, tener en cuenta la evolución de los procesos y las tecnologías digitales que emergen en nuestras actividades, así como influir en la normativa francesa para integrar los modelos digitales en las licitaciones y los contratos de proyectos de infraestructuras. □

CYCLE DE VIE DES CHAUSSÉES DANS UN CONTEXTE BIM

AUTEURS : GAËLLE LE BARS, DIRECTRICE CHAUSSÉES ET PATRIMOINE, EGIS -
ZIAD HAJAR, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE, EIFFAGE INFRASTRUCTURES

DANS LE CADRE DU PROJET NATIONAL MIN⁰D (MODÉLISATION DES INFORMATIONS INTEROPÉRABLES POUR LES INFRASTRUCTURES DURABLES), PROJET DE RECHERCHE DÉDIÉ AU DÉPLOIEMENT DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE DANS LE SECTEUR DES INFRASTRUCTURES, LE TRAVAIL PRÉSENTÉ DANS CET ARTICLE CONCERNE LE DOMAINE DES CHAUSSÉES D'UNE INFRASTRUCTURE ROUTIÈRE ET LA MODÉLISATION DES INFORMATIONS QUI Y SONT ASSOCIÉES, DANS LES DIFFÉRENTES PHASES DU PROJET DE LA CONCEPTION À L'EXPLOITATION.

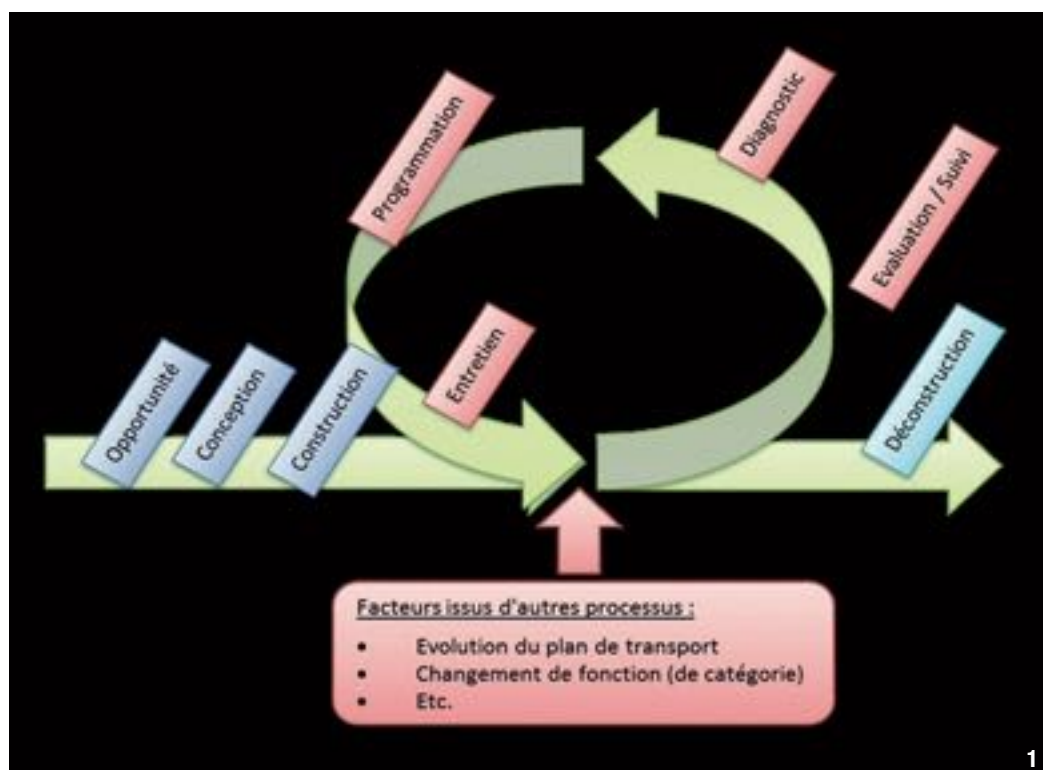
INTRODUCTION

Les chaussées constituent l'un des principaux éléments du patrimoine d'une infrastructure routière : elles requièrent des règles de conception liées à un contexte variable (trafic, climat, durée de dimensionnement, ...), elles s'adaptent sur leur durée de vie (entretien, renforcement, élargissement, ...) elles ont des interactions fortes avec les usagers (confort, sécurité, ...), elles représentent un budget important en termes de construction, de maintenance et d'entretien.

Structurer les données liées aux chaussées, définir les objets auxquels sont rattachées ces données, identifier et représenter les échanges entre les différents acteurs, rend possible la mise à disposition de toutes les informations nécessaires à la connaissance du niveau de service offert à l'utilisateur et de l'état du patrimoine sur le cycle de vie. Un modèle de données associées à la chaussée a été défini d'une manière exhaustive pour les différentes phases de développement du projet (figure 1). Ce modèle conceptuel, intégré à la maquette numérique de l'infrastructure, porte sur toutes les catégories de route (autoroutes, RN, RD, voies urbaines), avec les référentiels et standards correspondants, et couvre à la fois les ouvrages neufs et existants. Une représentation des différents points de vue, des informations échangées, et une modélisation des processus clés de gestion des exigences sont également proposées.

OBJECTIFS ET DÉMARCHÉ

La démarche de structuration des données est déjà engagée dans le domaine des chaussées par la mise



en place courante de base de données routière (BDR) et l'usage de Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) sur les projets linéaires. L'utilisation de la maquette numérique dans la structuration des données sur le cycle de vie constitue une réelle opportunité d'aller encore plus loin.

En effet, l'usage de la maquette numérique dans la gestion du cycle de vie des infrastructures est abordé dans le présent cas d'usage, au travers de la composante chaussée, avec comme ambitions de :

→ Définir un modèle d'information complet associé à la chaussée,

1- Macro-processus de gestion d'une infrastructure routière.

1- Macro-process of management of a road infrastructure.

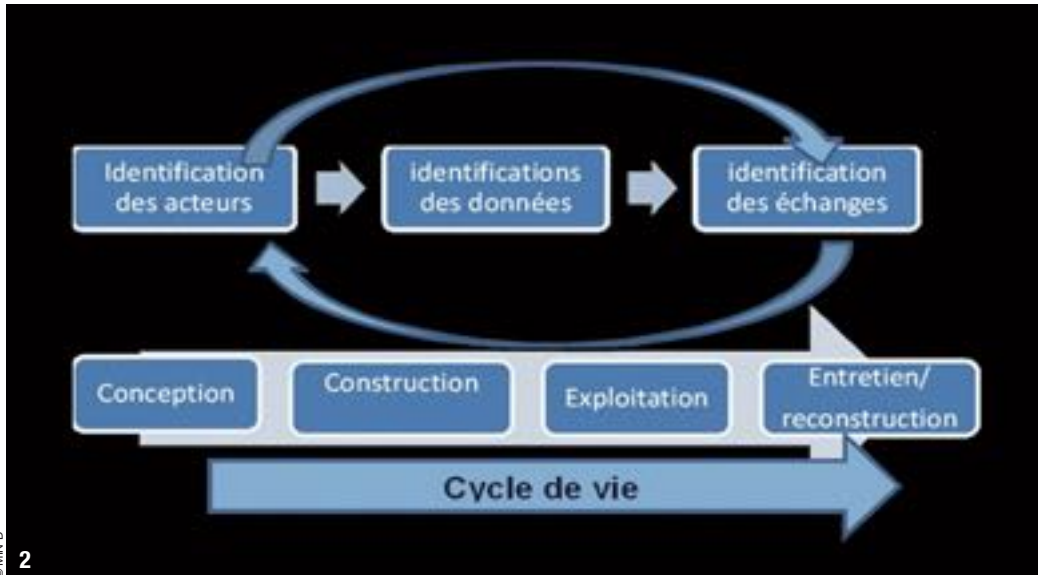
en identifiant et en structurant les données échangées entre les différents acteurs et dans les différentes phases du projet.

→ Représenter les processus dans lesquels se font ces échanges.

→ Faire apparaître les différents points de vue des acteurs impliqués : propriétaire, concepteur, constructeur, exploitant, etc.

→ Proposer une méthodologie pour une gestion des exigences et des décisions, sur tout le cycle de vie de la chaussée assimilée à un produit, par application des outils de PLM (Product Lifecycle Management).

L'usage de maquettes numériques dans ce cadre ouvre de réelles perspectives de fluidification des échanges d'informations entre les différents acteurs de ce domaine. Encore faut-il identifier quels sont ces acteurs, quelles



© MIND
2

sont ces informations et quels sont les processus (type d'échange, phase du projet, ...) dans lesquels ces échanges interviennent (figure 2).

Dans le cadre de ce cas d'usage, la démarche adoptée a consisté à :

- Définir de manière exhaustive les données nécessaires à la réalisation d'un projet ;
- Rassembler ces données en « opérations élémentaires » ;
- Décomposer les opérations par phase de projet de la conception à l'exploitation ;
- Définir les différents objets issus de la structure de la route et à leur affecter un ensemble d'attributs parmi les données identifiées ;
- Identifier les échanges entre les acteurs et établir une liste d'interaction type entre ces acteurs selon les données et les phases du projet.

LA STRUCTURATION DES DONNÉES

LES ACTEURS

Les principaux acteurs impliqués dans la gestion des infrastructures routières sur leur cycle de vie et retenus dans le cas d'usage sont : le maître d'ouvrage, le concepteur des chaussées, le constructeur des chaussées et l'exploitant des chaussées.

2- Processus d'élaboration du modèle de données échangées. 3- Schématisation des objets.

2- Process of production of the data exchange model. 3- Schematic representation of objects.

D'autres acteurs ont également été identifiés : les concepteurs autres que le concepteur des chaussées. Il peut s'agir du concepteur géométrie, terrassements, assainissement, etc.

LES DONNÉES

Il a été retenu que seules les données liées à la chaussée et les données nécessaires à la conception, construction et exploitation de la chaussée elle-même étaient concernées.

Deux types de données sont nécessaires :

- Des données statiques ;
- Des données dynamiques.

Les données statiques sont les données physiques n'évoluant pas dans

le temps, décrivant et caractérisant la chaussée. Elles peuvent être statiques à des moments différents du cycle de vie de la chaussée et devenir dynamiques ensuite.

Les données dynamiques sont les données d'état des ouvrages évoluant dans le temps (caractéristiques fonctionnelles, d'usage et de fonctionnement). De façon générale, les constatations suivantes ont servi de base à la réflexion :

- Toutes les données ne sont pas nécessaires ou ne présentent pas le même intérêt pour chacune des phases ;
- La vie d'une chaussée démarre à sa construction. La fiabilité des données récupérées en phase de conception puis de construction est nécessaire pour fiabiliser l'exploitation ;
- Des données obtenues en phase de construction doivent être disponibles pour expliquer des phénomènes constatés en exploitation ;
- Des données dynamiques en phase de travaux deviennent statiques en exploitation (à la fin des travaux) ;
- Un choix des données justes nécessaires est à réaliser pour assurer une continuité conception/construction/exploitation.

Ces réflexions ont abouti à une liste de données regroupées par « opérations élémentaires », on peut citer l'opération « trafic » comprenant les données permettant de le caractériser précisément, comme l'année de comptage, le pourcentage de poids lourds, le pourcentage de croissance attendue, la distribution spatiale entre les voies, etc.

LES OBJETS

Un projet routier peut se décomposer en plusieurs objets imbriqués les uns dans les autres (figure 3).

Dans le cadre du cas d'usage UC2, les objets retenus sont :

- Le tronçon routier en tant qu'unité de conception, considéré comme une portion de route sur laquelle le trafic reste constant (entre deux échangeurs par exemple).
- Le segment routier considéré comme une unité de comportement ou d'état (même profil en travers par exemple).
- Les voies, que l'on différencie transversalement, sur un même segment, des voies pouvant y être conçues différemment : voies poids lourds, voies rapides, bande d'arrêt d'urgence, ...
- Et enfin les couches de chaussées synonymes de matériaux divers, qui composent la structure de la chaussée. C'est le plus petit objet défini au niveau de cette étude.

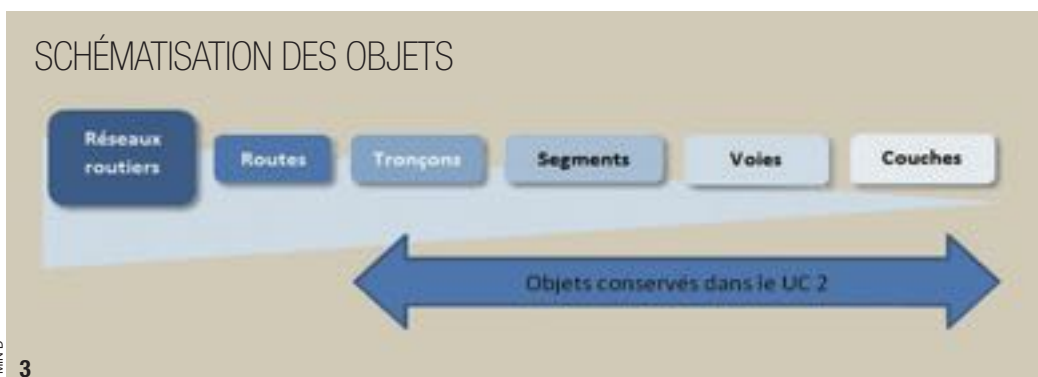
Le périmètre retenu dans ce cas d'usage peut paraître bien évidemment limité. En effet, ce choix exclut du périmètre de l'étude certaines activités particulières, notamment liées à l'exploitation ou à l'entretien.

On pense par exemple à l'organisation des déviations lors de chantiers lourds, ou encore à la programmation de l'entretien.

Dans ces activités particulières, qui concernent le gestionnaire, l'exploitant et, à un moindre niveau, le propriétaire, les informations transférées ou partagées entre acteurs relèvent davantage de la route voire du réseau.

Cependant, ce choix répond à la volonté de ne pas complexifier davantage l'approche.

Chaque objet identifié est composé a minima d'une dizaine de données (jusqu'à une trentaine pour l'objet Voie). Le découpage proposé est établi à partir de l'objet le plus important tout en restant vigilant à ne pas être redondant, à clairement définir les limites et à classer les données sans hésitation par rapport à l'objet le plus approprié (figure 4).



© MIND
3

La notion de sous-objet (figures 5 et 6) a été introduite et la décomposition suivante a été adoptée dans le cas de la structuration des données chaussées :

- **Objet** : Tronçon.
- **Sous-objet N-1** : le segment.
- **Sous-objet N-2** : la voie.
- **Sous-objet N-3** : la couche et les matériaux.

Cette approche permet d'associer la notion de découpage spatial à celle de découpage par objets/composants. Elle n'intègre pas la notion de découpage fonctionnel, qui n'a de sens et d'utilité que lorsqu'on s'intéresse au niveau réseau, en particulier lorsqu'on hiérarchise les routes pour gérer leur entretien (non inclus dans ce cas d'usage).

LA REPRÉSENTATION DES ÉCHANGES

Une fois la question de la donnée et de sa structuration établie, la question de la représentation des échanges devient fondamentale. Une fois la donnée constituée, il est nécessaire qu'elle soit rattachée à un modèle d'information qui évolue, qui se développe, tout en restant accessible par tous les acteurs quelle que soit la phase du projet.

La donnée devient alors une valeur au service de tous les acteurs autour d'un projet commun.

Par conséquent, les données rattachées à un objet ne présentent d'intérêt que si elles favorisent la collaboration des différents acteurs et améliorent significativement les processus de planification et de réalisation, à toutes les phases du projet.

Dans le cadre de l'UC2 du projet MIN²D, en première approche, une formalisation des échanges a été établie sous forme d'une matrice (figure 7) permettant de figurer, les phases, les acteurs, les données échangées (avec une notion de donnée obligatoire ou optionnelle), et les échanges. L'intérêt de cette représentation est double puisqu'elle permet d'identifier l'ensemble des échanges et l'ensemble des données. Cependant, il est apparu nécessaire de pouvoir proposer une représentation qui puisse permettre :

- D'une part, de suivre la conformité des échanges de données au long du cycle de vie par rapport aux exigences d'un contrat ;
- D'autre part, de disposer d'une forme universellement reconnue (langage commun, représentation standardisée du déroulement du processus) pour pouvoir spécifier le contenu d'un standard comme les IFC.

ATTRIBUTS	OBJET	SOUS-OBJET N-1	SOUS-OBJET N-2
	Tronçon	Segment	Voie
	Traffic - TMJA / croissance / PL Indice de gel de référence Scénario d'entretien Nom du tronçon		
		Type de voie Date de construction Constructeur Type de projet Repérage géométrique et/ou spatial Longueur Nombre de voies Profilés en travers Plateforme	Largeur de voie Dévers Taux de PL Agressivité Portance Épaisseur de la couche de forme Nature de la couche de forme
		Dimensionnement	Standard Type de structure Type couche de roulement Température de référence Risque calcul Durée de vie Fraiséuse totale

4- Exemple d'attributs des objets chaussés.

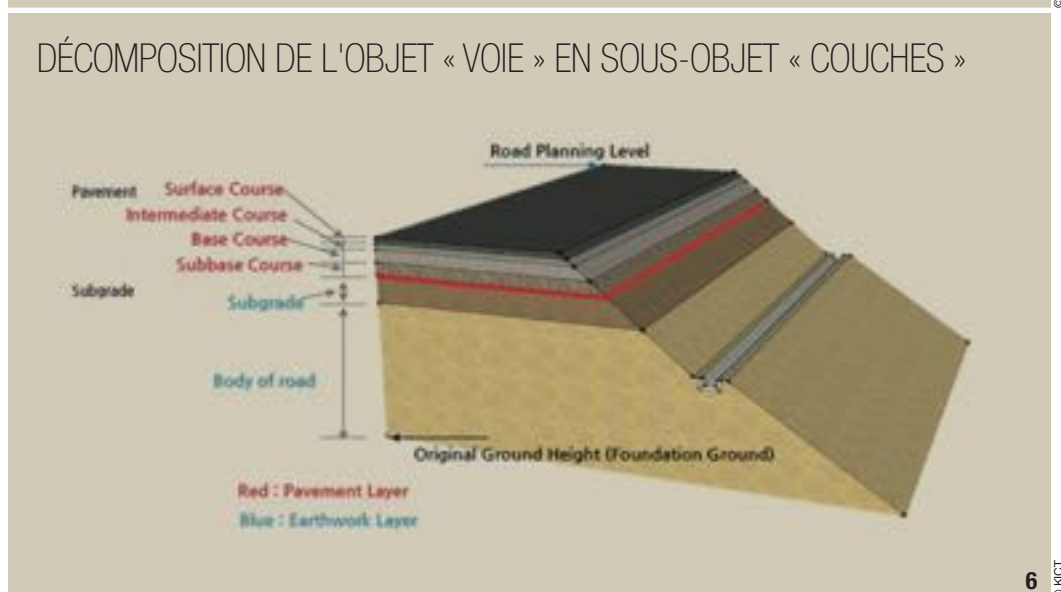
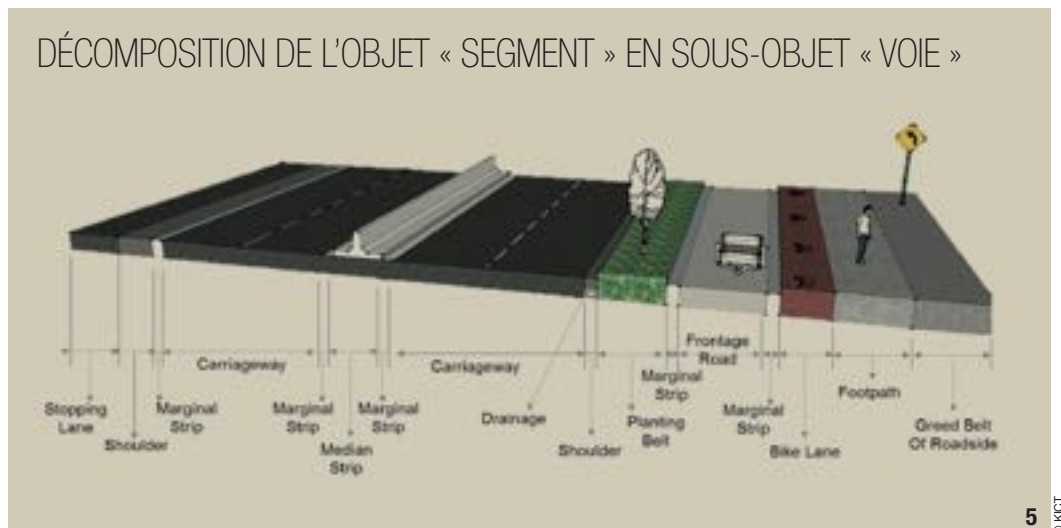
5- Décomposition de l'objet « Segment » en sous-objet « Voie ».

6- Décomposition de l'objet « Voie » en sous-objet « Couches ».

4- Example of attributes of pavement objects.

5- Breakdown of the "Segment" object into a "Lane" sub-object.

6- Breakdown of the "Lane" object into a "Layers" sub-object.



MATRICE DES DONNÉES ÉCHANGÉES - EXTRAIT

Catégorie	Objet	Données	CONCEPTION																	
			APAAVP				PRO				DCE				MARCHÉ					
			Phase	Échange	Statut	N° Fiches	Phase	Échange	Statut	N° Fiches	Phase	Échange	Statut	N° Fiches	Phase	Échange	Statut	N° Fiches		
CONCEPTION / CONSTRUCTION	Localisation / Identification	Localisation																		
		Identification																		
		Échange																		
	Caractéristiques géométriques & structure	Structure																		
		Géométrie																		
		Échange																		
	Caractéristiques de produits	Produits																		
		Matériaux																		
		Échange																		

© MIND 7

Un formalisme, défini dans le Guide d'implémentation du BIM du Pennstate, qui est une référence mondialement reconnue, est proposé (figure 8).

Le format est une représentation BPMN (Business Process Model and Notation) dont l'entrant fondamental est la matrice préalablement établie.

Les échanges sont nommés selon la règle suivante :

→ Émetteur – Récepteur – Phase – Opération Élémentaire – Indice de l'échange

Exemple : CE-CC AVP Loc 1

Il s'agit d'un échange provenant de l'émetteur concessionnaire/maître d'ouvrage délégué et allant au récepteur le concepteur des chaussées

7- Matrice des données échangées - Extrait.

8- Représentation des échanges type BPMN.

7- Data exchange matrix - Excerpt.

8- Representation of BPMN type exchanges.

durant la phase AVP concernant l'opération élémentaire Localisation. Cet échange est l'échange 1 entre ces deux acteurs sur cette phase et pour cette opération.

LA GESTION DES EXIGENCES L'ARBORESCENCE PRODUIT D'UNE CHAUSSÉE

Le recours à des méthodes de gestion des exigences est très répandu dans de nombreux secteurs industriels, tels que la défense, l'automobile, l'aéronautique ou encore le nucléaire, dans le but d'accroître la maîtrise de leur produit.

L'un des objectifs de l'UC2 est d'étudier l'application de ces méthodes utilisées

en ingénierie système, à la gestion du « produit chaussée » tout au long de son cycle de vie.

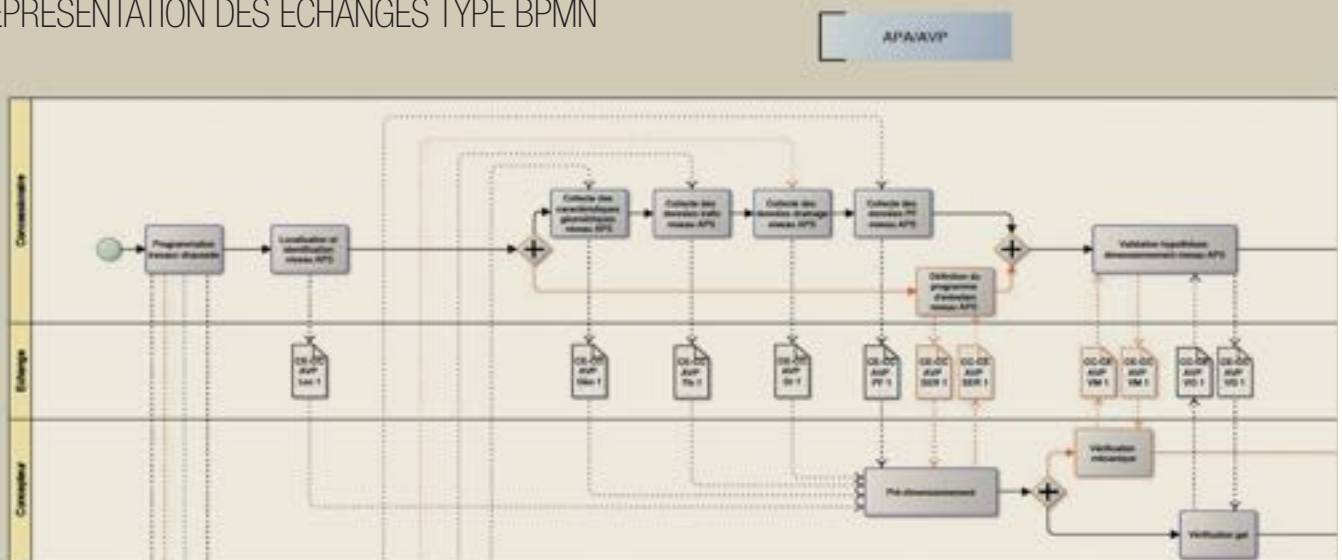
Il a été proposé de définir deux arborescences distinctes pour gérer les exigences d'une chaussée.

D'abord une structure contractuelle, car elle est la première mise en place et permet de ventiler les exigences de haut niveau. Ensuite, une structure produit suivant 2 axes (transversal et longitudinal).

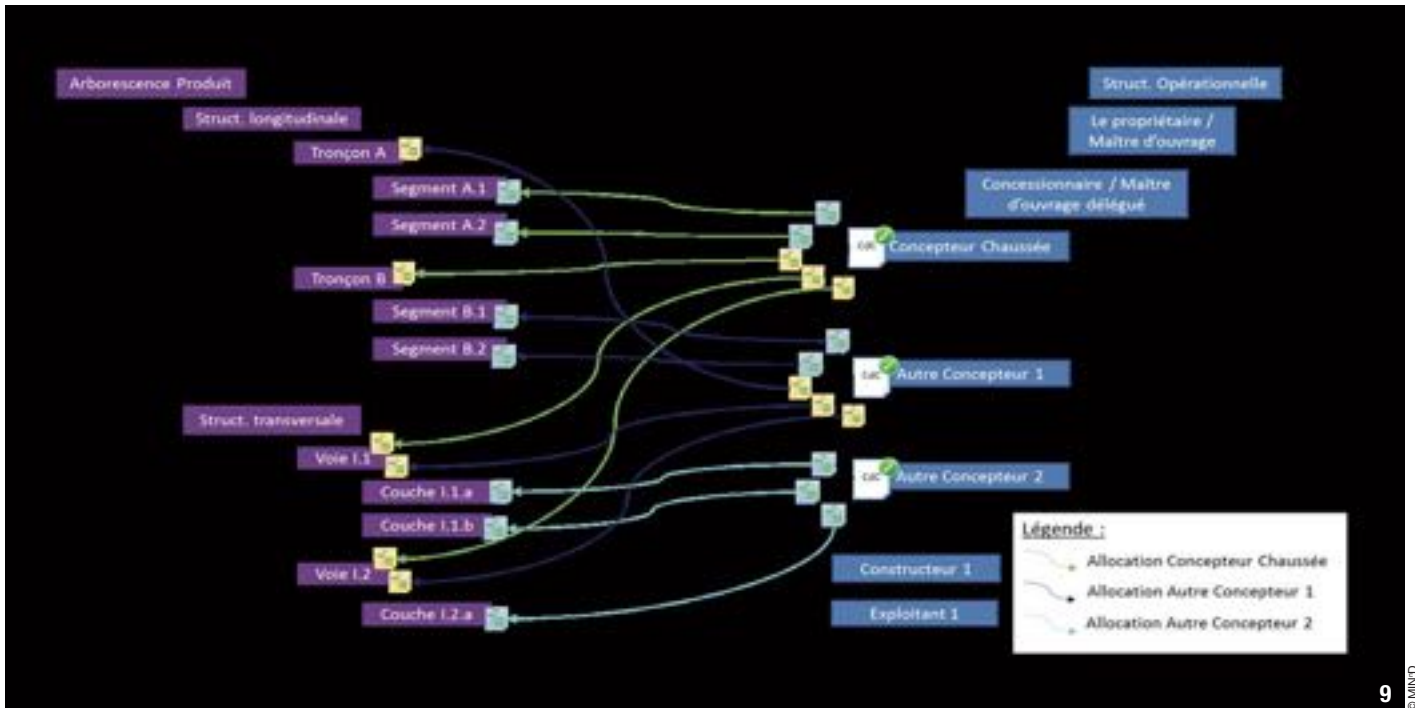
La représentation (figure 9) est simplifiée en regroupant les exigences en « cahiers des charges » et en « spécification opérationnelle ».

Dans l'exemple de la figure 9, la chaussée est composée de 2 tronçons :

REPRÉSENTATION DES ÉCHANGES TYPE BPMN

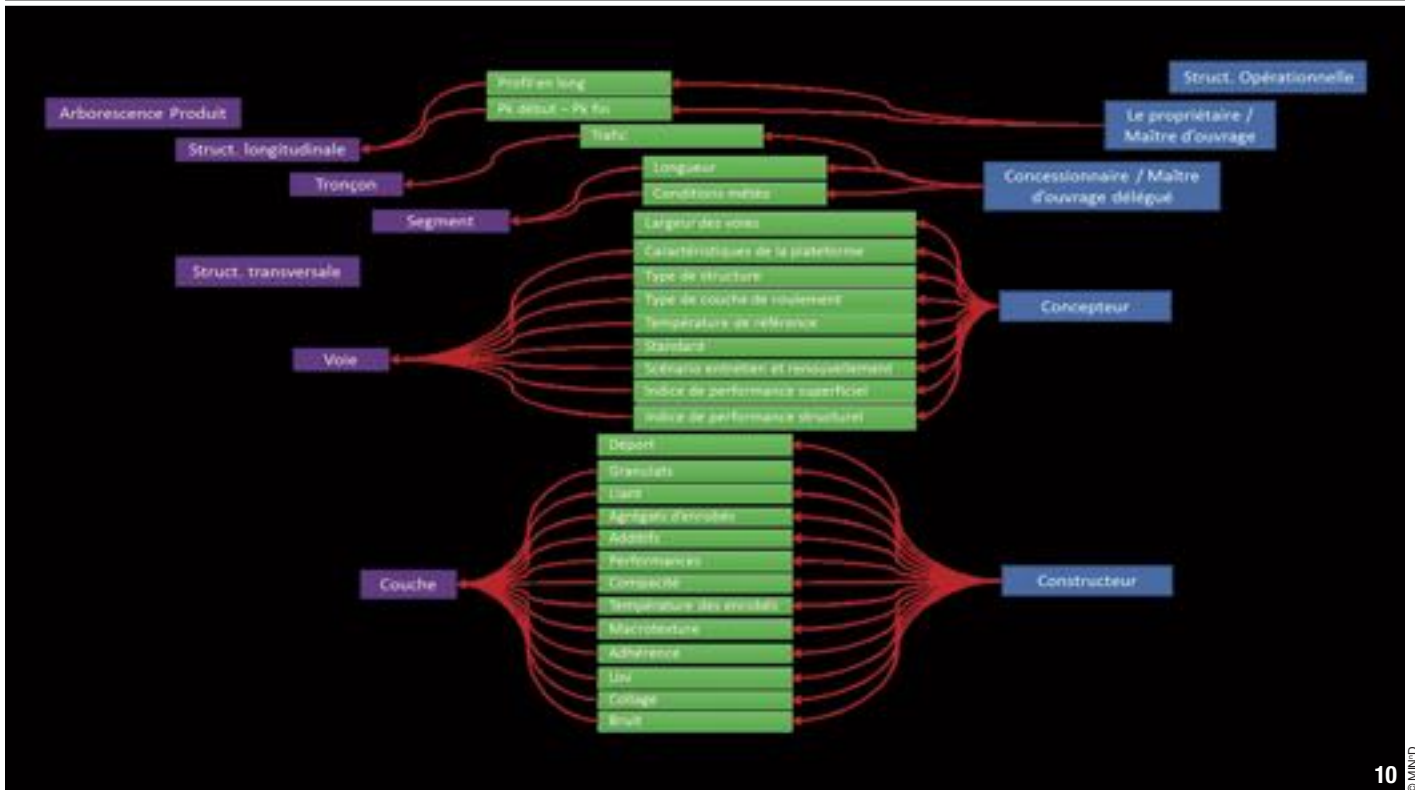


© MIND 8



9

© MIND



10

© MIND

→ Le concepteur 1 a la charge de concevoir le Tronçon A.
 → Le concepteur 2 a la charge de concevoir le Tronçon B.
 → Le constructeur 1 quant à lui réalisera l'ensemble des 2 tronçons.
 Chacun d'entre eux reçoit un cahier des charges de la part du maître d'ouvrage, et décline les exigences pour spécifier les éléments de l'arborescence produit :
 → Le concepteur 1 spécifie les segments du Tronçon A, il définit des contraintes vers le Tronçon B pour garantir une continuité, et il définit

des contraintes pour les voies de la chaussée.
 → Le concepteur 2 spécifie les segments du Tronçon B, il définit des contraintes vers le Tronçon A pour garantir une continuité, et il définit des contraintes pour les voies de la chaussée.
 → Le constructeur 1 intègre les contraintes émises sur les voies (par les 2 concepteurs), et il spécifie les couches qu'il doit réaliser.
 Il faut noter que, d'un point de vue pratique, le constructeur n'intervient

9- Gestion des exigences appliquées à une chaussée.

10- Répartition des types d'exigences sur les référentiels de la chaussée.

9- Management of requirements applied to a pavement.

10- Breakdown of types of requirements on the pavement baselines.

qu'après le travail de conception. Le travail de déclinaison des exigences va permettre de construire l'arborescence produit au fur et à mesure. L'arborescence produit peut évoluer dans le temps.

LA VENTILATION DES TYPES D'EXIGENCES SUR L'ARBORESCENCE PRODUIT DANS LE CAS DE LA CHAUSSEE

Dans le cadre d'autres travaux, nous avons identifié les types d'exigences qui peuvent s'appliquer au cas des

chaussées. La représentation (figure 10) permet d'identifier les exigences ventilées sur la structure produit, ainsi que l'acteur source de ces exigences. Cette représentation traite des exigences propres à la chaussée. D'autres exigences purement opérationnelles, présentes dans les contrats, peuvent être allouées aux acteurs. Néanmoins, il n'est pas obligatoire de les ventiler sur l'arborescence produit.

CONCLUSION

Structurer les données liées aux chaussées permet de garantir la cohérence

et l'exhaustivité d'informations, enrichies tout au long du cycle de vie de la conception du projet à son exploitation en passant par sa construction. Engager une structuration des données chaussées, quelles que soient les données disponibles à l'instant T, permet d'initier une démarche de long terme, interopérable et interactive sur le cycle de vie, au service de la gestion du patrimoine. Ce cas d'usage montre bien que les chaussées, au cœur de la gestion du patrimoine, sont un enjeu dans la démarche BIM et qu'il offre de belles perspectives pour l'avenir. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

Le groupe de travail du cas d'usage N°2 (UC2) « Cycle de vie appliqué aux chaussées » a réuni les principaux acteurs impliqués dans la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des infrastructures, mais également des spécialistes du PLM (Product Lifecycle Management) :

- Simon Platelle : Eiffage Infrastructures
- Fabrice Breton : Vinci Concessions
- Éric Layerle : Eurovia
- Christophe Castaing : Egis
- Patrice Afonso et Olivier Dupouy : Setec International
- Clara Amoud et Michel Ponsignon : Ingerop
- Philippe Lepert : Ifsttar
- Maxime Casse et François Tribouillois : Gfi Informatique

ABSTRACT

LIFE CYCLE OF PAVEMENTS IN A BIM CONTEXT

GAËLLE LE BARS, EGIS - ZIAD HAJAR, EIFFAGE

This article discusses the organisation of data relating to the pavements of a road infrastructure, and its development throughout the project life cycle. This work was performed within the framework of the "Life cycle applied to pavements" use case of the MIN²D national project, dedicated to the deployment of BIM in the field of infrastructure. A model is proposed for the information needed for pavement design, construction, operation, maintenance and repair. The defined data model is accompanied by a representation of data exchange between the stakeholders, and the key requirement management processes, by applying PLM (Product Lifecycle Management) tools. □

CICLO DE VIDA DE LAS CALZADAS EN UN CONTEXTO BIM

GAËLLE LE BARS, EGIS - ZIAD HAJAR, EIFFAGE

El presente artículo trata de la estructuración de los datos relacionados con las calzadas de las infraestructuras viales y su desarrollo a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Este trabajo ha sido realizado en el marco del caso de uso "Ciclo de vida aplicado a las calzadas" del proyecto nacional MIN²D, dedicado al despliegue del BIM en el ámbito de las infraestructuras, y propone una modelización de los datos necesarios para el diseño, la construcción, la explotación, la conservación y el mantenimiento de las calzadas. El modelo de datos definido va acompañado de una representación de los intercambios entre los actores y de procesos clave de gestión de las exigencias mediante la aplicación de herramientas de PLM (Product Lifecycle Management). □




Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe **7 300 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près de **260 000 salariés connus**.

Nos coordonnées :

- **Par courrier :**
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** www.cnetp.fr
- **Par mail :** sur www.cnetp.fr, lien [nous contacter](#)
- **Par téléphone :**
 - pour les entreprises : 01.70.38.07.70
 - pour les salariés : 01.70.38.07.77
- **Serveur vocal (24h/24) :** 01.70.38.09.00














1 © SYSTRA

BIM ET SIG - GESTION DES DÉBLAIS

AUTEUR : MAXIME BEAUDOUIN, RÉFÉRENT SIG/BIM, SYSTRA

LA GESTION DES DÉBLAIS A TOUJOURS ÉTÉ UN SUJET COMPLEXE À GÉRER. SI ELLE N'EST PAS ANTICIPÉE, ELLE PEUT ENTRAÎNER D'IMPORTANTES PERTES FINANCIÈRES VOIRE DES ARRÊTS TEMPORAIRES DE TRAVAUX. UNE CONNAISSANCE ACCRUE DU SOL EST INDISPENSABLE, MAIS N'EST PAS SUFFISANTE POUR UNE GESTION EFFICACE. L'UTILISATION DES PROCESSUS BIM ET DE LA BASE D'INFORMATION UNIQUE PEUT S'AVÉRER ÊTRE UN ALLIÉ DE TAILLE DURANT TOUTES LES PHASES DU PROJET.

Aujourd'hui, dans une société accordant toujours plus d'attention au sujet écologique, lors de la construction de toute infrastructure, un sujet prédominant devient toujours plus complexe : la gestion des déblais.

Ces déchets de chantier, particulièrement présents et encombrants sur les projets souterrains, ne peuvent plus être abandonnés à leur sort dans une zone camouflée en marge du projet.

Dans cette optique, différentes évolutions des codes pour la construction imposant de réutiliser les rejets d'un projet ont vu le jour. Pour les déblais, plusieurs usages peuvent être envisagés : le traitement, le recyclage, la valorisation ou le stockage. Ces usages nécessitent d'avoir des terrains disponibles pour le stockage temporaire, dans le cas de la valorisation ou du recyclage, ou en attente d'un traitement adéquat (figure 2).

1- Modélisation via BIM In One Click (Projet de métro de Toulouse).

1- Modelling via BIM In One Click (Toulouse metro project).

Ces zones doivent avoir la capacité d'accueillir les déblais mais elles doivent aussi être d'un accès facile pour le ou les transports retenus dans le cadre du projet. La méthode d'acheminement la plus sûre reste le routier, fiable et souple. Le train, pouvant accueillir jusqu'à 3 fois le volume d'un camion par wagon est une modalité plus économique et une bonne alternative si une infrastructure est disponible. Enfin le mode de transport fluvial, une barge pouvant contenir

2- Exemple d'un centre de stockage de déblais.

3- Web-application développée par Systra pour les campagnes géotechniques (Projet de Métro de Nice, Ligne 2).

4- Exemple de modélisation de sol via GDM.

2- Example of an excavated material storage centre.

3- Web application developed by Systra for geotechnical campaigns (Nice metro project, Line 2).

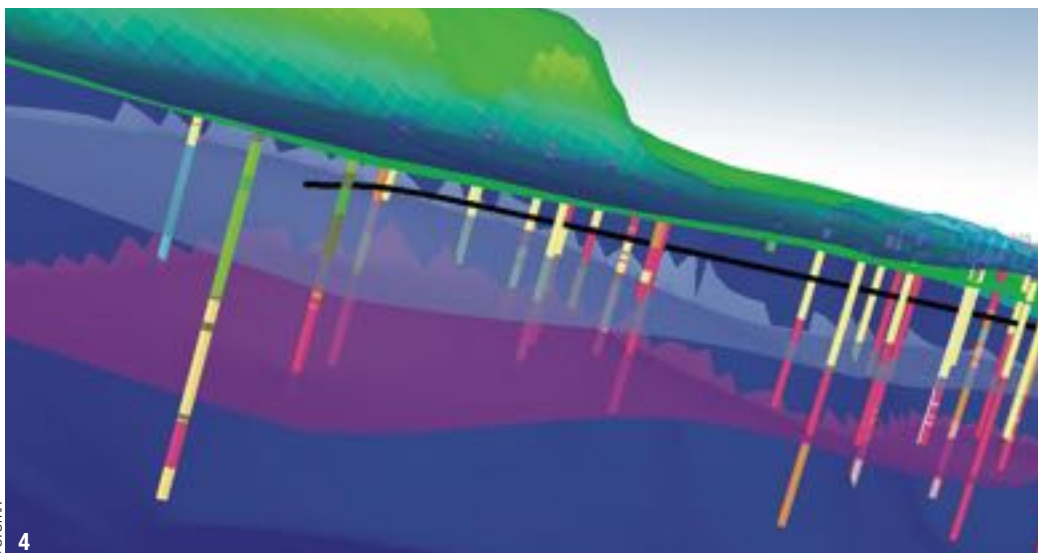
4- Example of soil modelling via GDM.



© SYSTRA
2



© SYSTRA
3



© SYSTRA
4

l'équivalent de 35 wagons ; mais ce mode nécessite la présence d'un cours d'eau proche et il est très dépendant des conditions climatiques.

Dans les projets souterrains de métro en milieu urbain pouvant s'étendre sur plusieurs kilomètres, trouver des zones de dépôt peut s'avérer très difficile. Les surfaces libres en milieu urbain sont particulièrement prisées mais leur accessibilité peut être un vrai problème. Par exemple, dans le cadre du chantier du Grand Paris Express, les terrains disponibles répondant à ces critères ont été acquis par des tiers dès l'annonce du projet, dans le but de les louer à la Société du Grand Paris durant les travaux.

La gestion des déblais peut ainsi se dessiner en trois grands volets :

- Les cas d'usage des déblais ;
- La localisation des zones de dépôt et la définition des modes de transport optimisés ;
- Le suivi et la traçabilité des déblais tout au long des travaux.

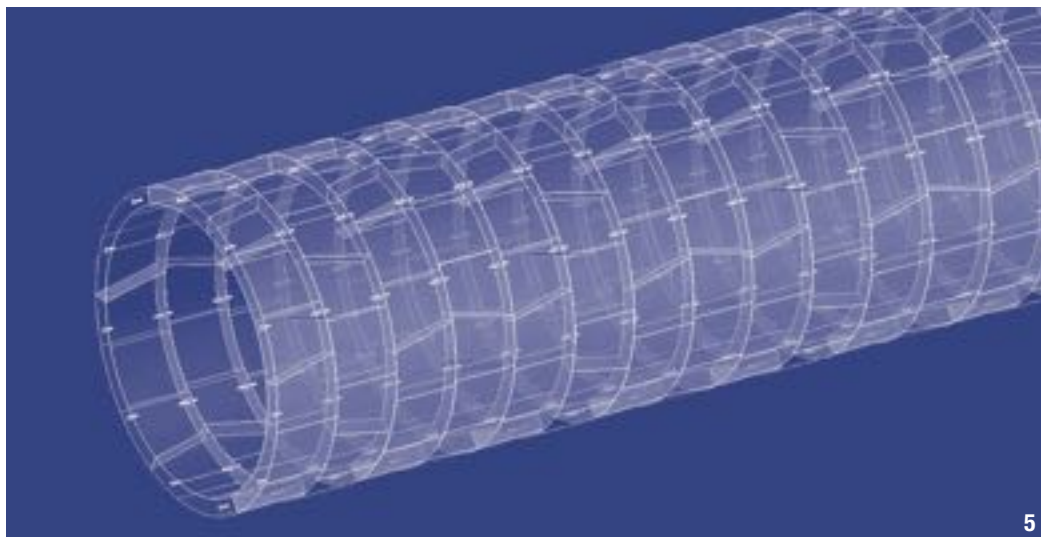
Les cas d'usage des déblais dépendent de la nature du sol et des possibilités offertes par le projet et les projets proches. En premier lieu, il est donc nécessaire de connaître le sous-sol.

LA PHASE D'ÉTUDE LA COLLECTE ET LA STRUCTURATION DE LA DONNÉE DE SOL

Les grands projets d'infrastructure sont découpés en différentes phases, entraînant des pertes de données et d'informations entre chacune d'elles. Un des bénéfices du BIM, par la création d'une base commune et la centralisation des données, est la limitation de ces pertes. Le maître d'œuvre dispose de deux principales sources d'information : les documents bibliographiques (carte géologique, description régionale de la géologie...) et les résultats des campagnes de reconnaissance du projet ou d'autres projets (la loi précisant que "toute personne exécutant un ouvrage souterrain dont la profondeur dépasse 10 mètres au-dessous de la surface du sol doit le déclarer").

Dans le premier cas, le type d'information et le format de ces informations peuvent être très variables, en revanche il existe une structuration ouverte et professionnelle pour les données issues des campagnes de reconnaissance de sol : l'AGS (Association of Geotechnical & Geoenvironmental Specialists).

Cette structuration permet d'archiver les sondages et essais de façon efficace. Toutefois, deux problématiques sont récurrentes sur ces campagnes : ▷



5

© SYSTRA

5- Modélisation structurel type de BIM In One Click.

6- Illustration de l'extraction de volume de sol via le BIM In One Click.

5- Structural modelling of the BIM In One Click type.

6- Illustration of soil volume extraction via BIM In One Click.

le manque de visibilité de l'avancement impactant les délais de remise des premières données, ainsi que la rigueur aléatoire dans la structuration de la donnée malgré un modèle communiqué (figure 3).

Afin de répondre à ces problèmes, Systra a déployé sur le projet de métro de la ligne 2 de Nice, l'extension de la

ligne 11 de Paris des web-applications procurant au prestataire, en charge de la reconnaissance de sol, une interface pour renseigner l'avancement et les documents minutes de chaque forage.

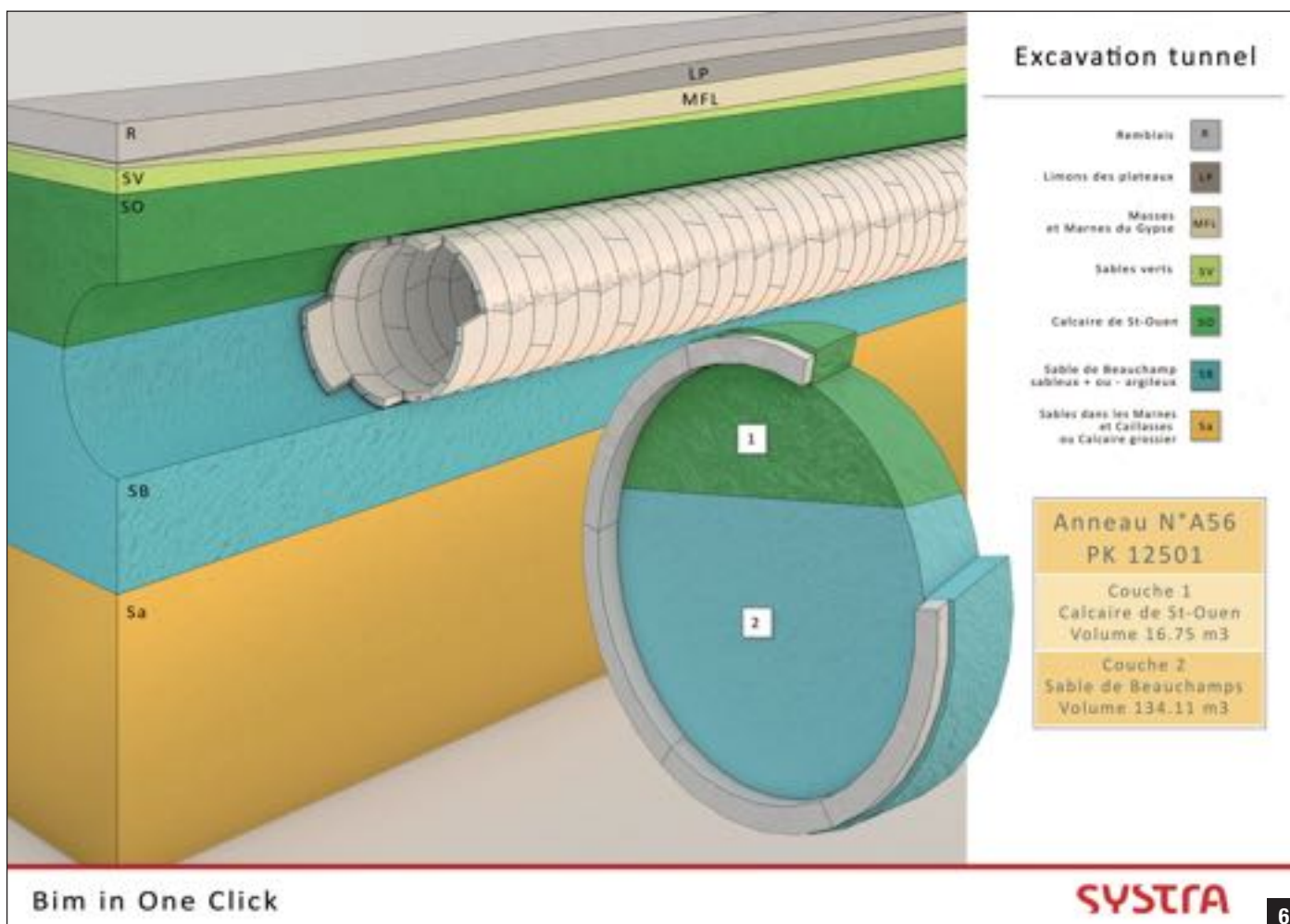
Le gain de réactivité obtenu a permis de reprendre certains sondages avant la fin de la campagne ; chose qui n'aurait été possible en méthode tradi-

tionnelle qu'avec un surcoût important. Une application interne à Systra permet à l'utilisateur métier de renseigner via cette interface toutes les données collectées.

Grâce à cet outil, l'ensemble des données sont structurées et stockées dans une base unique accessible par d'autres outils/logiciels.

LA MAQUETTE MÉTIER DE LA GÉOLOGIE/GÉOTECHNIQUE

Les données des campagnes de reconnaissance sont stockées dans une base de données accessible depuis plusieurs interfaces parmi lesquels les logiciels métiers du SIG (Gamme Arcgis, MapInfo, ...), le CAO (Civil 3D, ...), des logiciels de maquettes fédérés BIM

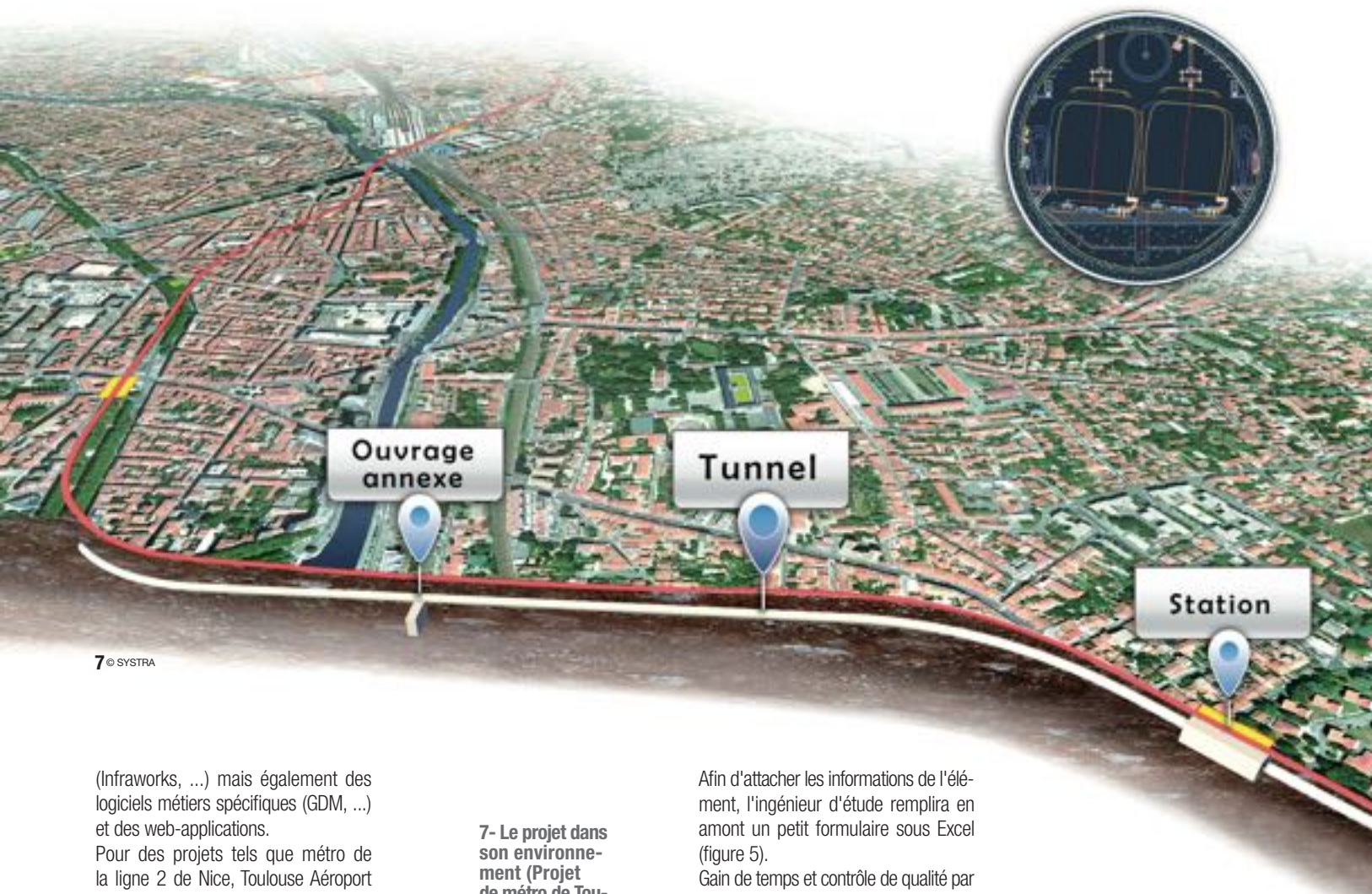


Bim in One Click

SYSTRA

6

© SYSTRA



7 © SYSTRA

(Infraworks, ...) mais également des logiciels métiers spécifiques (GDM, ...) et des web-applications.

Pour des projets tels que métro de la ligne 2 de Nice, Toulouse Aéroport Express, Jeddah Public Transportation Program, le logiciel GDM du BRGM (Bureau de Recherche Géologique et Minière) connecté aux données, a permis une visualisation en temps réel des sondages. Un opérateur métier vérifiait l'absence d'erreur puis modélisait les interfaces entre les différentes couches de sol identifiées ; ces limites ne se déterminant jamais automatiquement mais bien par un utilisateur (figure 4). En effet, aucun algorithme n'est aujourd'hui capable de représenter le sol de façon réaliste sans une intervention humaine. De plus cette modélisation du sol est, et sera toujours, une interprétation plus ou moins proche de la réalité.

Les principaux paramètres à prendre en compte pour cette modélisation sont la complexité géologique de la zone étudiée, la quantité et la qualité des informations, la précision du modèle... Comprendre les limites de cette modélisation est très important car tout le travail de l'estimation des volumes excavés s'y réfère.

Les surfaces créées sont exportées vers la base de données du projet. Cette étape pourrait être automatisée, afin de se rapprocher des IFC du BIM,

7- Le projet dans son environnement (Projet de métro de Toulouse Aéroport Express).

7- The project in its environment (Toulouse Aerospace Express metro project).

mais elle a volontairement été conservée en manuel afin d'avoir un frein sur une éventuelle diffusion d'une version non vérifiée dans les maquettes métiers et donc fédérée par enchaînement.

LA MAQUETTE MÉTIER STRUCTURALE, LE BIM IN ONE CLICK

Dans le but de modéliser de façon simple et automatique des structures et leurs attenants, Systra a développé un *plugin* pour Civil 3D se nommant BIM In One Click. BIM In One Click est l'exemple même de l'avancée de l'automatisation des tâches répétitives. Pour un ouvrage d'art ayant une structure redondante, le *plugin* générera les éléments grâce à un *template*, en suivant un tracé 3D préalablement défini.

Afin d'attacher les informations de l'élément, l'ingénieur d'étude remplira en amont un petit formulaire sous Excel (figure 5).

Gain de temps et contrôle de qualité par l'utilisateur, le BIM In One Click est une solution efficace qui va s'enrichir avec l'utilisation future des IFC. L'UC 8 de MIN⁰D, projet national de Modélisation des Infrastructures Durables, a justement pour mission de définir les IFC pour les structures souterraines.

LA MAQUETTE FÉDÉRÉE

Une maquette fédérée va pouvoir être créée sous Civil 3D (de chez AutoDesk) en intégrant la maquette structurale et la maquette géologique. Le *plugin* BIM In One Click calculera le volume des différents sols rencontrés dans chaque anneau et les ajoutera dans les attributs de celui-ci. Même si le résultat obtenu est précis, ce volume est à mettre en rapport avec la précision et la fiabilité du modèle géologique/géotechnique utilisé.

Les anneaux sont localisés précisément dans l'espace et sur le tracé. Il devient donc possible de lier l'information de volume à un Pk, permettant ainsi de visualiser les déblais en tout point du tracé. De plus le *plugin* BIM In One Click peut se lier à Cynchro afin visualiser les volumes de déblais par nature en fonction du planning (figure 6).

S'agissant d'une maquette fédérée, la mise à jour d'une des maquettes entraînera la mise à jour de la maquette fédérée. Les changements de tracé n'auront donc qu'un impact très maîtrisé sur la mise à jour de l'information. Il est à noter toutefois que la mise à jour du modèle de sol dans la maquette géologique/géotechnique ne se fera pas automatiquement avec l'ajout de sondage ; l'interprétation des informations est nécessaire pour mettre à jour les interfaces de couches.

SIMULATION DE FLUX

Les volumes et natures de déblais définis en fonction du temps de l'avancement et de la situation géographique du tunnelier ont maintenant été établis. Ces paramètres sont les prérequis pour la détermination des zones de dépôt et des voies d'acheminement.

Les potentielles zones de dépôt peuvent être fournies en données d'entrée par le MOA ou peuvent être déterminées à partir des données du foncier. Disposant de la localisation des différents exutoires, des données issues de BIM In One Click, des zones de dépôts potentielles, du système routier, ▷

ferroviaire et fluvial, il est possible de déterminer grâce à un algorithme sous SIG des variantes d'organisation d'évacuation et de stockage des déblais. Des variantes économiques en termes de temps de déplacement et/ou écologique peuvent être calculées puis comparées entre elles (figure 7).

Cet outil d'aide aux choix de flux des déblais, s'il est utilisé dans les phases amont (avec des hypothèses acceptables sur le modèle de géologie), peut permettre de réserver les terrains nécessaires à la gestion des déblais bien avant les phases de construction. À l'issue de cette phase, le projet dispose de tous les éléments nécessaires pour préparer la phase travaux.

La maquette fédérée du projet contiendra l'ensemble des données du projet et sera utilisée durant la phase travaux pour la pratique, le suivi et la traçabilité des déblais.

LA PHASE TRAVAUX

La phase d'étude a permis de déterminer la logistique nécessaire à la gestion des déblais. La phase travaux démarrant, avec des itinéraires définis, la gestion des déblais à proprement parler va débiter. Afin d'éviter une saturation des zones de dépôt et de connaître les volumes extraits, il est nécessaire de mettre en place un suivi des volumes excavés.

Les évolutions technologiques de ces dernières années ont eu un impact significatif (et positif pour la plupart) sur les méthodes de travail. Aujourd'hui la plupart des formulaires papier présents sur des chantiers peuvent être retranscrits en numérique sur un support tel qu'une tablette. Outre l'aspect pratique, cet outil de mobilité peut être connecté directement à la base de données. L'ensemble des informations saisies sera donc directement visible dans le projet.

Grâce aux outils de mobilité basés sur les technologies Arcgis utilisées chez Systra, et à partir d'une tablette et d'un identifiant réseau, des opérateurs in situ peuvent remplir des formulaires et les lier à un objet.

Par exemple, un opérateur chantier peut avoir un camion (qui pourrait avoir un QR code afin de l'identifier) sur le départ avec sa cargaison. Il suffit à l'opérateur de saisir l'identifiant ou scanner le QR code du camion et de lui associer sa destination et sa cargaison. Un nouvel opérateur le scannerà à l'arrivée dans la zone de dépôt.

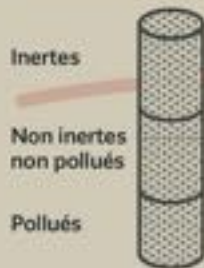
Une interface web permet aux gestionnaires de chaque zone de dépôt de

LES ÉTAPES DE GESTION DES DÉBLAIS - LES DIFFÉRENTES ÉVACUATIONS

ÉTAPE 1 Reconnaissance des sols

La connaissance préalable de la nature des sols permet de mieux les gérer une fois excavés.

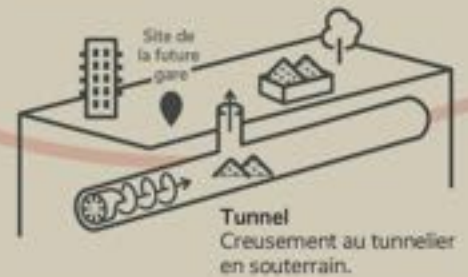
3 catégories de déchets



ÉTAPE 2 Construction

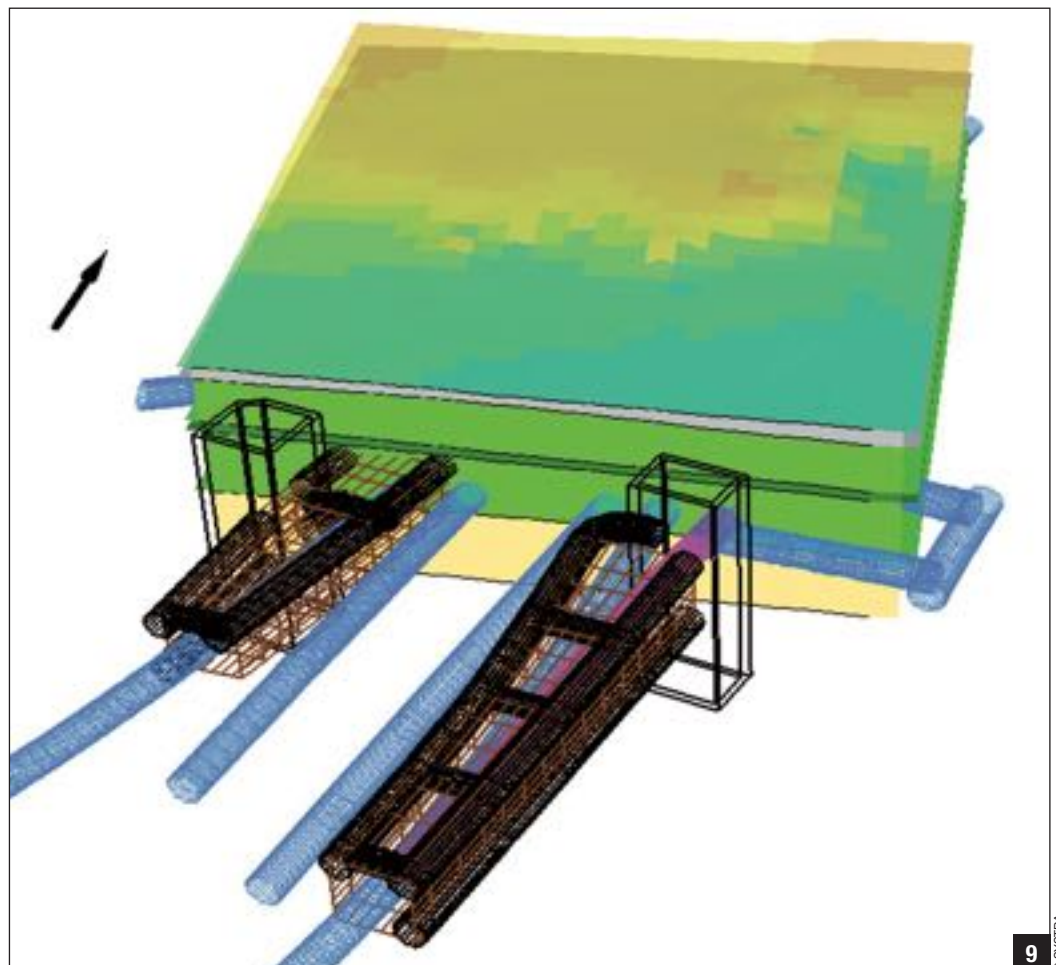
Optimisation du projet à chaque phase d'étude.

Terrassement
Excavation des déblais
Chargement



8

© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS



9

© SYSTRA

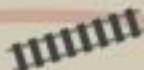
ÉTAPE 3 Évacuation

Définition de scénarios logistiques pour chaque site de production.

Multimodalité



Fluvial
Création de plates-formes de transbordement, utilisation des ports existants.



Ferré
Études des possibilités de raccordement et d'utilisation du réseau.



Routier
Utilisation des grands axes routiers pour limiter les impacts sur les voiries locales.

1 barge = 35 wagons = 100 camions

Traçabilité

Suivre le parcours et le devenir des terres

ÉTAPE 4 Destination

Recherche de valorisation des terres.

- **Traitement** Centre spécialisé
- **Recyclage** S'inscrire dans l'économie circulaire
- **Valorisation** Réaménagement et comblement de carrières, projets d'aménagement, filières BTP et industrielle
- **Stockage** Zone dédiée

8- Les étapes de gestion des déblais - les différentes évacuations.

9- Modélisation du sol par Systra en 2014 - l'évolution en continu.

8- The stages in excavated material management - the various disposal operations.

9- Soil modelling by Systra in 2014 - continuous change.

faire le point sur les entrants et sortants de leur dépôt mais également d'établir des statistiques de leur stock, évaluer l'espace libre... (figure 8).

Le temps de trajet des véhicules peut être calculé afin de voir s'il est cohérent avec les estimations et s'il peut être optimisé. Pour les déblais spécifiques (comme les déblais dis pollués), il devient plus aisé d'anticiper les montées en charge et de réaliser des planings plus précis de leur arrivée dans les zones de traitement.

Tout au long de la phase de travaux, la maquette est utilisée afin de permettre un meilleur suivi des déblais,

un meilleur accès à la donnée entre les acteurs et une plus grande transparence. Grâce au BIM, les alertes de chaque métier ou opérateur sont centralisées et plus facilement accessibles, permettant ainsi d'augmenter la vitesse de réaction des acteurs concernés. La maquette générée pourra évoluer au fil de la phase travaux en confrontant estimation et réalisation.

CONCLUSION

Le BIM facilite la gestion des déblais grâce au stockage dans une base de données unique et pérenne de l'ensemble des informations liées à l'étude.

Ses maquettes apportent un support confortable pour gérer les interfaces métiers, modéliser des couches de sols mais aussi toutes autres simulations nécessaires à l'anticipation de la phase travaux. Durant cette phase, la maquette fédérée liée à des outils de terrain mobiles et des interfaces dédiés à la gestion permettra un gain de temps, de transparence et de fiabilité de la gestion des déblais (figure 9). Les retours d'expérience et les futurs IFC, notamment ceux issus de projet tel que MIN²D, permettront dans un avenir proche de voir émerger une vraie solution de gestion des déblais innovante. □

ABSTRACT

BIM AND GIS - EXCAVATED MATERIAL MANAGEMENT

MAXIME BEAUDOUIN, SYSTRA

Nowadays, social concern for sustainable design and environmental conservation is making the management of excavated material more complex. But new developments in processes and technologies, notably due to the BIM approach, are providing tools and methods facilitating forward planning and control of this management. Data classified as soon as it is collected, made available to the various trades practically in real time, and interoperable with specific dedicated tools, will make it possible to rapidly model the subsoil and its infrastructure, and simulate flows of excavated material for the design engineering part of the project. Field tools connected to this data, used during the works phase, will finalise this management. □

BIM Y SIG: GESTIÓN DE LOS ESCOMBROS

MAXIME BEAUDOUIN, SYSTRA

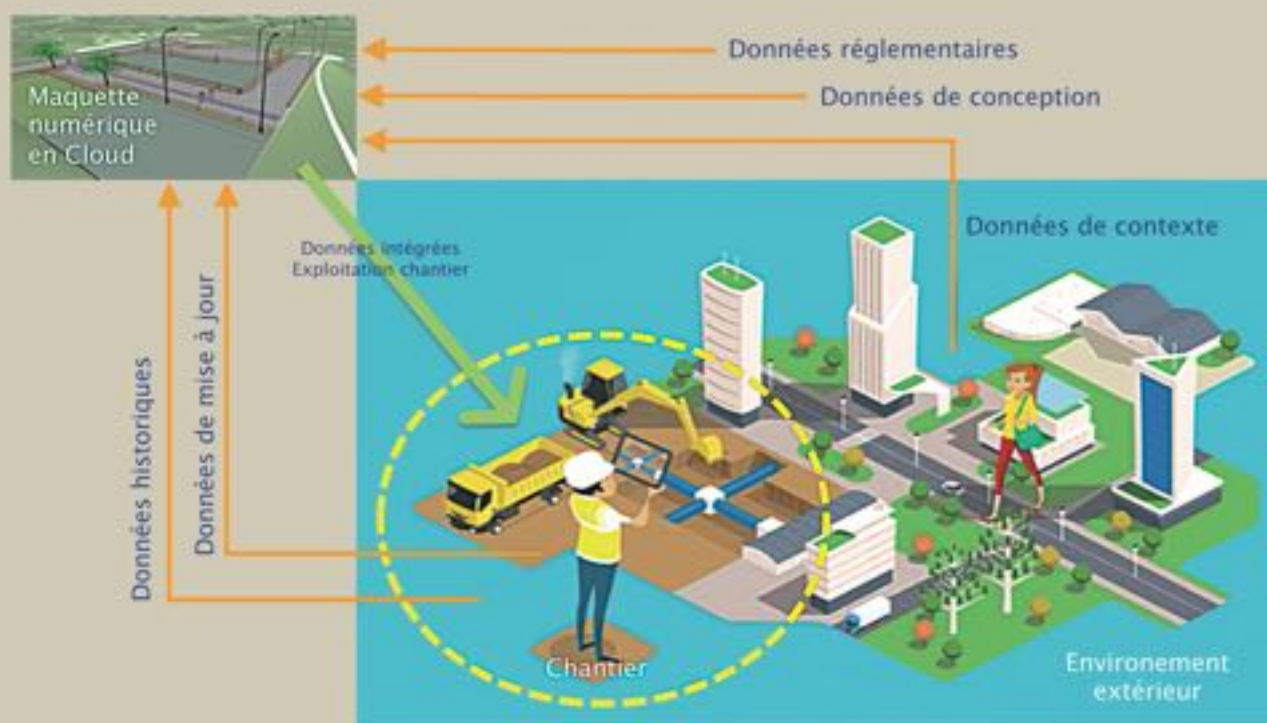
Actualmente, la tendencia de la sociedad hacia el diseño sostenible y el respeto por el entorno hace más compleja la gestión de los escombros. Pero los cambios en los procesos y las tecnologías, en especial gracias a la filosofía BIM, aportan herramientas y métodos que facilitan la previsión y el dominio de esta gestión. La estructuración de los datos desde su obtención, disponibles casi en tiempo real para las distintas actividades e interoperables mediante herramientas específicas dedicadas, permitirá modelizar rápidamente el subsuelo y sus infraestructuras, y simular los flujos de escombros de la parte del proyecto estudiada. El uso de herramientas de campo conectadas a estos datos durante la fase de obras constituye el último paso de esta gestión. □

LA RÉPONSE INNOVANTE D'« EXCELLENCES TP » À : COMMENT FORMER AU BIM

AUTEUR : CHARLES AÏVAR, DIRECTEUR GÉNÉRAL, ÉCOLE DES TRAVAUX PUBLICS DE NORMANDIE

LE BIM EST EN TRAIN DE BOULEVERSER LA VISION DU CHANTIER : LES ENJEUX À MESURER, LES HOMMES À IMPLIQUER, DES LOGIQUES À ASSIMILER, DES OUTILS À MAÎTRISER... POUR ENGAGER CETTE TRANSITION ET S'APPUYER SUR DES DISPOSITIFS ADAPTÉS, LES CENTRES DE FORMATION DU RÉSEAU « EXCELLENCES TP » DE LA FNTF TRAVAILLENT AU CONCEPT INNOVANT ET INÉDIT DE PLATEAUX PÉDAGOGIQUES BIM (PPB) EN RÉSEAUX.

LE CONCEPT DES ÉCHANGES CLONE NUMÉRIQUE/CHANTIER DANS SON ENVIRONNEMENT



1 © DT

Les outils liés à la conception et la maintenance de la maquette numérique sont la partie visible de l'iceberg « BIM ». La question de comment former l'ensemble des personnels de chantier à ce processus de nouvelle vision étendue en est la partie immergée et constitue un réel enjeu.

Le BIM nécessite de développer une collaboration décloisonnée, transparente, consciente et responsable

afin que tous les actes techniques puissent converger vers la maquette numérique dans l'intérêt du collectif « Ouvrage ».

C'est dans la posture professionnelle d'Alain (voir encadré : Le cas d'Alain, Chef de chantier), clef de voûte du processus, que réside toute la puissance du BIM comme sa principale faiblesse.

Sortir des verticalités des spécificités experts, développer une vision à

1- Le concept des échanges clone numérique/chantier dans son environnement.

1- The concept of digital clone/construction site exchanges in its environment.

360 degrés, intégrer aux réflexions l'ensemble des parties prenantes et penser chaque acte technique dans une perspective à long terme, autant d'attitudes professionnelles qu'il s'agira de développer.

À défaut d'intégrer ces dimensions dans les gestes professionnels, le risque est non négligeable de transformer l'objectif de performance technico-économique du BIM en un enfer de métadonnées foisonnantes,

LE CAS D'ALAIN, CHEF DE CHANTIER

Alain chef de chantier, opère pour la première fois sur un chantier VRD conçu en mode BIM. C'est un changement radical pour lui. Tout y va plus vite. Tout y est plus précis. Tout y a des conséquences immédiates.

À son niveau, deux changements majeurs : "la consultation des plans d'exécution" et "la confection des plans de récolement".

Les plans, détails, autorisations, règles, normes nécessaires à la réalisation du chantier sont tous accessibles via sa tablette connectée au cloud de la maquette numérique.

Mais le véritable gain de temps, c'est que le plan qu'il consulte est dynamique : il s'actualise régulièrement (plusieurs fois par jour, en temps réel si besoin) et contient toutes les informations qui lui sont nécessaires (présence de réseaux sensibles qualifiés et localisés à proximité de son ouvrage, informations spécifiques sur les risques riverains, coordonnées téléphoniques des concessionnaires concernés, historique de l'ouvrage, jusqu'au mode opératoire et consignes de sécurité de cette nouvelle machine qu'il va devoir utiliser pour poser son tronçon de réseau).

Plus besoin de travailler de façon isolée ou de passer un temps fou au téléphone, chantier arrêté, pour obtenir l'information nécessaire.

Il y a plus fort encore. Alain ne fait plus de plans de récolement, ou plutôt il effectue désormais des "Mises À Jour d'Ouvrage" en temps réel.

Dès que son branchement est réalisé et vérifié, il utilise l'application de Géo-Référencement de son smartphone connecté et communique les informations au BIM Manager (le régulateur).

Ces informations sont : les coordonnées x, y, z des tronçons rectilignes de la génératrice supérieure de la portion de réseau qu'il vient de poser, ainsi que les infos techniques associées : diamètre, matière, date, et identification de l'équipe de pose.

Avec le BIM il a compris que désormais, s'il en est autorisé, il peut tout savoir sur tout. Chaque ayant droit peut de la même façon tout savoir sur le travail de son équipe. Au moins les responsabilités sont-elles clairement attribuées et son professionnalisme reconnu. C'est un atout considérable.

Au-delà de ces nouveaux outils digitaux qu'il utilise désormais pour consulter ou qualifier les ouvrages, il doit intégrer dans le quotidien de son chantier beaucoup plus de données qu'auparavant. Il doit tout autant tenir compte de l'historique de l'ouvrage pour correctement reporter les responsabilités antérieures, que correctement qualifier sa tranche de travaux afin de sécuriser la responsabilité à venir de son entreprise.

Aujourd'hui il se doit de penser son chantier "dans un environnement physique", "dans un réseau d'acteurs" et "dans une chronologie".

incomplètes, incompatibles, contestables, tout autant peu exploitables que sources de litiges.

Les formations au BIM doivent s'emparer du sujet de l'humain pour permettre l'optimisation collective du process par la maîtrise de sa complexité (figure 1).

2- Vue avant-projet sommaire 2D du PPB.

2- 2D schematic preliminary design view of PPB training platform.

En dépassant l'acquisition des compétences liées à la maîtrise des outils digitaux (tablettes, logiciels, etc.), les formations doivent proposer des solutions et des environnements pédagogiques qui permettent à chaque acteur apprenant formé de développer les prises de conscience,

les compétences et les logiques du process BIM.

C'est la perspective que se sont fixée les professionnels de la formation rassemblés au sein du réseau « Excellences TP » de la FNTP d'imaginer des dispositifs pédagogiques novateurs qui impliquent, relient, et mettent en mouvement simultanément l'ensemble des acteurs du process BIM, tout en permettant à chacun de développer des compétences spécifiques en cohérence avec la logique globale.

Les dispositifs de formation devront donc prendre la forme de plateformes chantiers pédagogiques « réelles » destinées à comprendre, par des mises en place de situations concrètes, la logique, les gestes et les outils numériques d'un chantier conçu en process BIM.

À partir d'une situation pratique (opérer une réparation sur un réseau enterré par exemple) le stagiaire prendra en main un dossier technique via des outils connectés synchronisés (PC, smartphones, tablettes, visio casques, ...) consultera l'ensemble des données pour les analyser, les questionner, au besoin interagir avec le BIM Manager.

Les plans numériques 3D permettront au stagiaire apprenant de comprendre l'ouvrage à réaliser dans toutes ses dimensions (techniques, historiques, financières, HQSE, ...) ▷

VUE AVANT- PROJET SOMMAIRE 2D DU PPB



d'effectuer des métrés, indiqueront la marche à suivre, les différentes étapes, et les points d'arrêt qui nécessiteront de produire des relevés de réalisations (cotes de vérification d'épaisseur de matériaux, cotes fil d'eau, indications météorologiques critiques, ...).

L'objectif visé de cette immersion dans un chantier pédagogique conçu en process BIM est que l'apprenant prenne pleinement conscience de la logique collective du BIM, des acteurs qui se trouvent impliqués dans la maquette numérique et qui régulièrement l'alimentent en données actualisées.

Les formations liées au BIM prendront des formes pratiques et/ou théoriques selon les publics ciblés. En complément de ce qu'elles prétendent développer (process, compétences matériels et logiciels, gestes spécifiques, ...) elles devront tenir compte des fractures auxquelles sont exposés les utilisateurs et opérateurs. La fracture certainement la plus importante est la fracture cognitive liée au changement de paradigme dans l'acte d'apprendre.

Le BIM nécessite d'apprendre « autrement », en collectif, en coopération, en « coopération », là où le passé a construit dans nos esprit une culture de l'apprentissage solitaire et de la compétition.

Cette fracture constitue un risque comme une opportunité qui impose de changer nos méthodes d'apprentissage.

LA FORMATION AU PROCESS BIM

La formation au process BIM vise à faciliter la mutation des pratiques de tous les acteurs de la profession, développer des approches collaboratives et intégrées, maîtriser des outils, des environnements et des concepts numériques.

Les utilisateurs et contributeurs du BIM constitueront une interface à valeur ajoutée entre l'ouvrage et la maquette numérique.

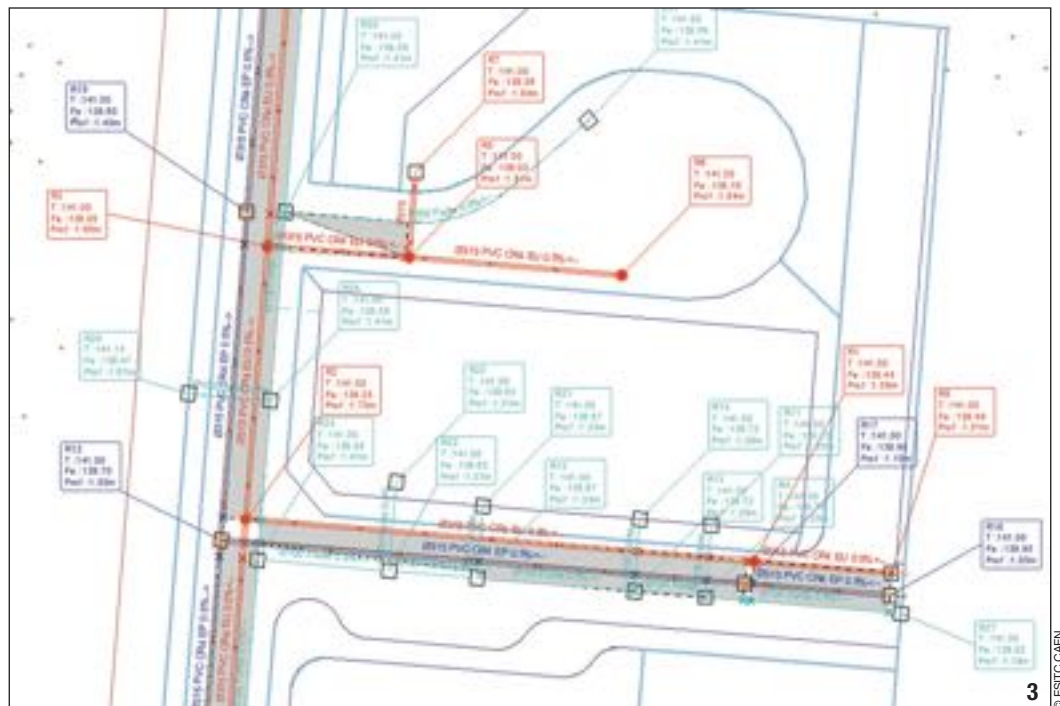
Les valeurs ajoutées des acteurs de chantier seront liées à leur capacité à intégrer et interpréter des données multiples et transversales, à produire de la précision et de la décision, à maîtriser les logiques et les dimensions virtuelles du process BIM.

3- Vue avant-projet modélisé 2D du PPB.

4- Vue avant-projet modélisé 3D du PPB.

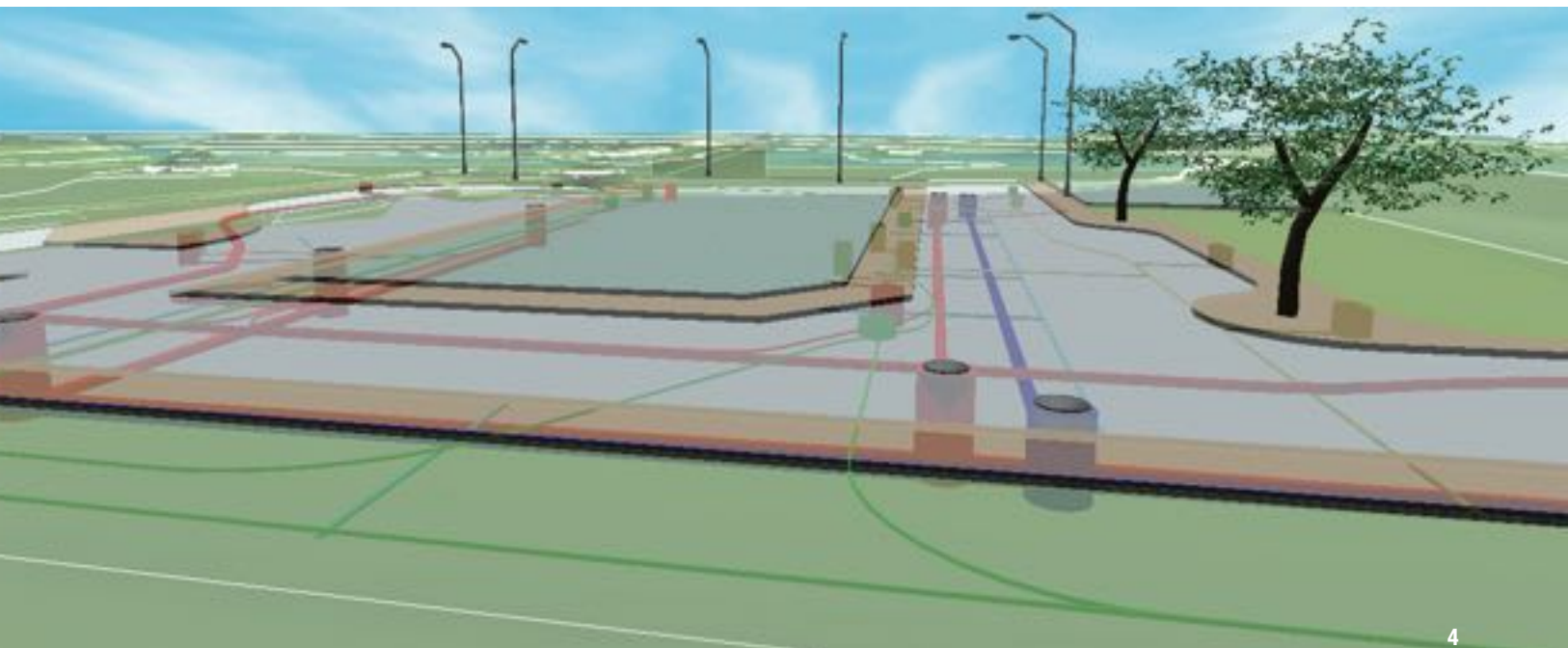
3- 2D modelled preliminary design view of PPB training platform.

4- 3D modelled preliminary design view of PPB training platform.



3

© ESTIC CAEN



4

© ESTIC CAEN

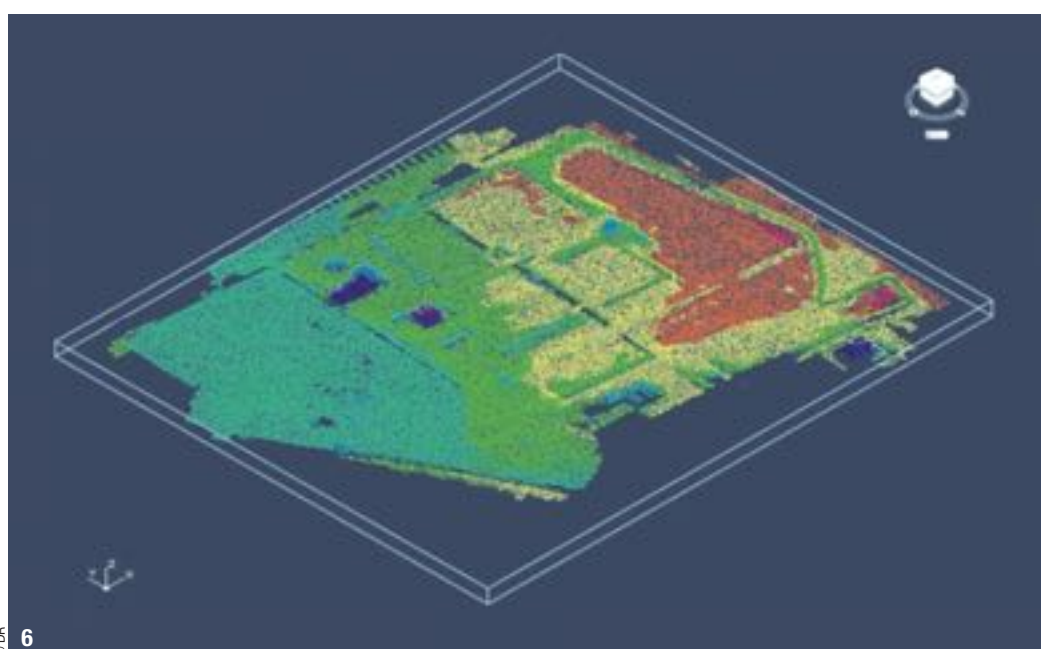


5- Levé photogrammétrique de la zone d'implantation Import de points (bruts) avant traitement de rendu du PPB.

6- Nuage de points (44 millions) avant modélisation 3D.

5- Photogrammetric survey of the location area. Import of (raw) points before rendering processing of PPB training platform.

6- Scatter diagram (44 million points) before 3D modelling.



réelle intègre douze scénarios d'intervention destinés à adapter les mises en situation aux expertises des stagiaires. Dès son origine, cette plateforme est pensée et modélisée au moyen d'une maquette numérique actualisée au fil de l'évolution de l'outil (figures 2 à 5).

Chaque stagiaire affecté à un scénario dédié consultera des données numériques nécessaires à la réalisation des travaux, réalisera l'ouvrage selon les étapes prescrites, produira des données de contrôle et de récolement au moyen d'outils connectés de géolocalisation, et les transmettra au BIM Manager de la plateforme qui en retour l'informerá de l'intégration (validation) des nouvelles données dans la maquette numérique modifiée.

2- Offrir un exemple d'ouvrage conçu, géré et maintenu en état en mode BIM.

Le PPB vise à donner une vision d'ensemble du process BIM à l'ensemble de parties prenantes de l'ouvrage : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, entreprises, fournisseurs. Il vise aussi à expérimenter les outils de déploiement du BIM : Dispositifs de levées numériques de terrain (SIEG), logiciels de modélisation et de conception d'ouvrage, logiciels de guidage d'engins connectés, ▷

LES PLATEAUX PÉDAGOGIQUES BIM (PPB)

Les Plateaux Pédagogiques BIM (PPB) visent à :

- Donner à "voir" ce qu'est le process BIM. quelles en sont les étapes, les acteurs, les données et le potentiel.
- Immerger les acteurs et les apprenants dans des situations réelles et les confronter à des outils numériques pour consulter, analyser, produire et transmettre des données vers le Cloud de la maquette numérique collaborative (le clone numérique).
- Permettre aux collaborateurs apprenants de prendre conscience de l'importance de la traçabilité et du temps dans le process BIM.

Le Concept Plateau Pédagogique BIM (PPB) du réseau «Excellences TP» de la FNTP couvre deux objectifs majeurs :

1- Offrir un environnement BIM d'entraînement réel.

Le projet reproduit une zone VRD de 3600 m² multi-réseaux (AEP, fibre, gravitaire, électricité, gaz, éclairage public, etc.) enterrés sous une surface aménagée (rues, trottoirs, pieds de façade etc.). Cette plateforme

applications de collecte et d'exploitation de données, et plateforme numérique de capitalisation, de partage et de gestion de données (Big Data TP).

L'ensemble des informations, savoirs, et concepts expérimentés sur le PPB seront déployés au sein de la profession via la base de données TP libre et en ligne WikiTP (voir encadré WikiTP). Le développement du PPB et son clonage sur l'ensemble des centres de formation impliqués, nécessite d'intégrer des compétences pédagogiques, techniques, digitales et de tenir compte des particularités de chaque établissement.

Devant l'émergence simultanée d'outils, de logiciels, de matériels, de concepts, devant la complexité à comprendre le process BIM dans toutes ses dimensions et devant les enjeux qui se dessinent au niveau de toute la profession, un tel projet doit voir le jour au niveau national en mobilisant les centres de formation du réseau « Excellences TP ». □



7- Modélisation 3D de la zone d'implantation du PPB.

7- 3D modelling of PPB training platform location area.

7 © ETPN



WikiTP.fr est la base de données techniques portée par la FNTF pilotée par l'École des Travaux Publics de Normandie, destinée à mobiliser l'ensemble de l'expertise technique et pédagogique des centres de formation du réseau "Excellences TP".

Contact : caivar@etpnormandie.fr

DANS UN FUTUR PLUS OU MOINS PROCHE

Les opérateurs utilisent des plans numériques actualisés régulièrement accessibles via tablettes ou casques TP à visière écran connectée. Ces plans intègrent des données de positionnement en x, y, z mais également des données techniques, de prévention, des informations riverains, des méta-données de coûts et de fournisseurs. Autant d'informations qui permettent une prise de décision plus rapide, mais également plus complexe. Les opérateurs, au moyen de smartphones connectés, positionnent en temps réel les ouvrages immédiatement après leur construction, et aux différentes phases du chantier. Le plan de récolement n'est plus un document à produire au terme de la construction de l'ouvrage. Les données de récolement sont produites simultanément à la construction et envoyées au bureau d'étude pour mise en forme, vérification de cohérence et intégration dans la maquette numérique collective.

Les chefs de chantier et les conducteurs de travaux utilisent des applis connectées qui mesurent en temps réel l'avancement des ateliers du chantier et les consommations des différents postes. Ces données réelles remontent automatiquement à l'ingénieur d'étude qui peut rectifier ses rendements et ses méthodes, ...

Les données produites et accessibles par le process BIM sont considérables ; leurs exploitations constituent un enjeu et une source de valorisation importante.

ABSTRACT

THE INNOVATIVE ANSWER OF "EXCELLENCES TP" TO HOW TO PROVIDE TRAINING IN BIM

CHARLES AÍVAR, ÉCOLE DES TRAVAUX PUBLICS DE NORMANDIE

The BIM process involves a large number of players in the production and use of collective, shared data. Apart from initial instruction regarding the tools and the assimilation of cross-cutting concepts, an important question concerns training of the personnel who will work in the future on public works sites connected to a digital clone. To achieve the performance goal promised by BIM, training will have to be supported by innovative educational systems allowing trainees to see, understand and evolve in appropriate training environments. These public works site platforms are in co-research within the "Excellences TP" network of training organisations of the French public works federation FNTF. □

LA RESPUESTA INNOVADORA DE "EXCELLENCES TP" A: ¿CÓMO FORMAR ACERCA DEL BIM?

CHARLES AÍVAR, ÉCOLE DES TRAVAUX PUBLICS DE NORMANDIE

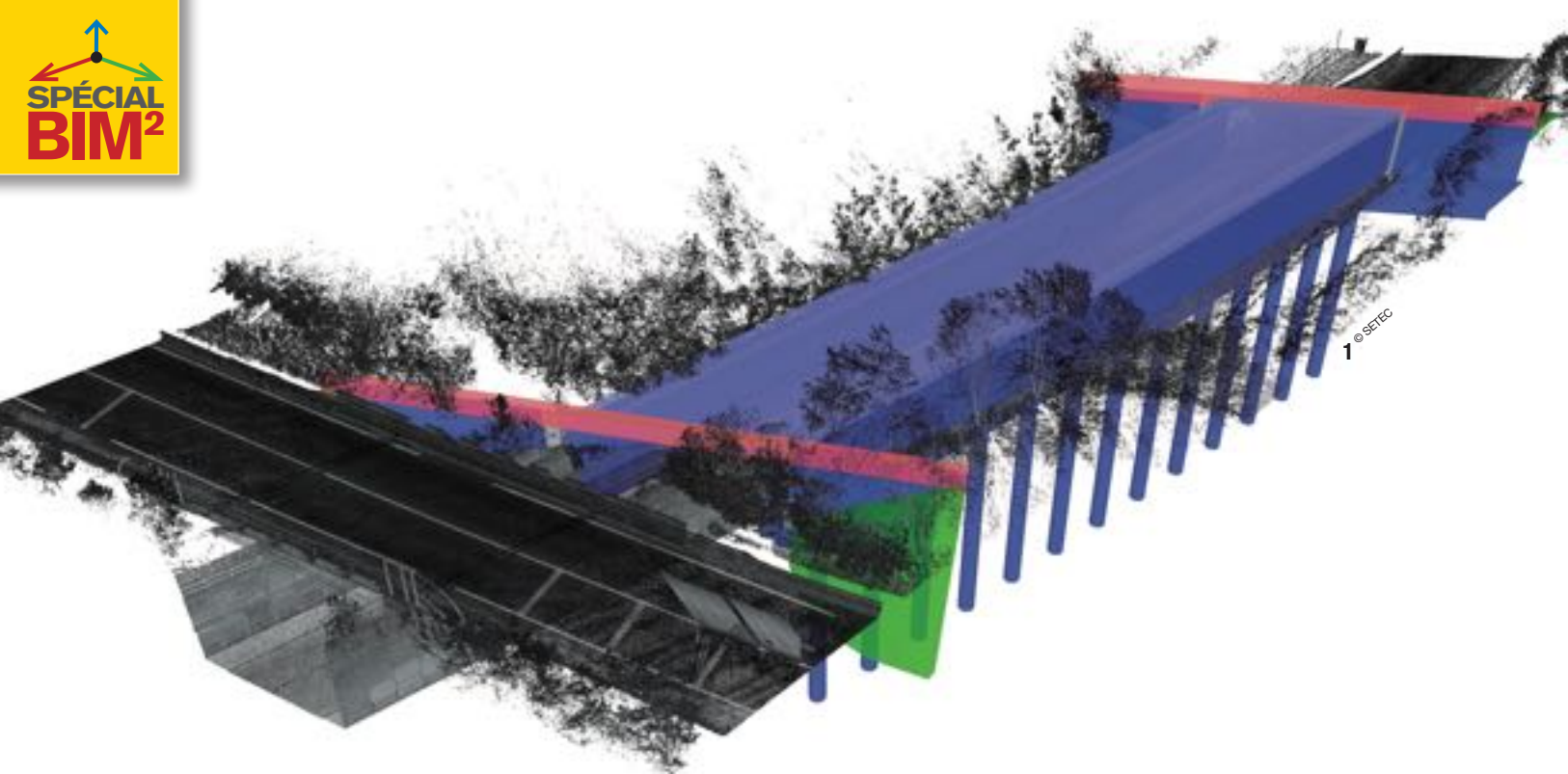
El proceso BIM implica una multitud de actores en la producción y la utilización de datos colectivizados y compartidos. Más allá del manejo de herramientas y la adopción de conceptos transversales, se plantea la cuestión clave de la formación del personal que en el futuro operará en obras públicas conectadas a un clon digital. Para alcanzar el objetivo de eficiencia establecido por el BIM, las formaciones deberán basarse en dispositivos pedagógicos innovadores que permitan mostrar, explicar y evolucionar en entornos de entrenamiento adaptados. Estas plataformas de obra pública también están siendo analizadas en la red "Excellences TP" de los organismos de formación de la Federación Nacional francesa de Obras Públicas (FNTF). □



RÉINVESTISSONS LA FRANCE ”



www.fntp.fr



LES INFRASTRUCTURES LINÉAIRES : LE NOUVEAU DÉFI DU BIM

AUTEURS : DENIS LE ROUX, BIM MANAGER INFRASTRUCTURES LINÉAIRES, SETEC ALS - JEAN-YVES SABLON, DIRECTEUR DU PROJET A36/RN1019-NCEUD DE SEVENANS, SETEC ALS - ANTOINE TASTARD, BIM MANAGER OUVRAGES D'ART, SETEC ALS

LE PROCESSUS BIM, AUJOURD'HUI BIEN EN PLACE DANS LES MÉTIERS DU BÂTIMENT, PASSE À LA VITESSE SUPÉRIEURE DANS LE DOMAINE DES INFRASTRUCTURES. BIEN QUE LES ACTEURS DU PROJET NATIONAL MIN'D AIENT PRIS CONSCIENCE DU DÉFI QUI S'ANNONCE, PEU DE RETOURS D'EXPÉRIENCE SONT PUBLIÉS COMPARATIVEMENT AU VOLUME D'ARTICLES TRAITANT DU SUJET DANS LE BÂTIMENT. DES AVANCÉES SIGNIFICATIVES SONT POURTANT RÉALISÉES, COMME PAR EXEMPLE POUR LE MODÈLE D'ÉTUDES DE L'A36 À SEVENANS. DANS LE CONTEXTE LOGICIEL ACTUEL, LA MISE EN ŒUVRE D'UNE DÉMARCHE BIM INFRA SUR UN PROJET NÉCESSITE UN INVESTISSEMENT MANAGÉRIAL ET TECHNIQUE POUR METTRE EN ŒUVRE UN PROCESSUS OPÉRATIONNEL.

Les métiers de l'infrastructure linéaire découvrent le BIM et les processus collaboratifs qui y sont associés. Les maquettes BIM sont constituées d'objets 3D et d'informations techniques. Ce dernier aspect reste cependant flou pour les acteurs qui ne sont pas directement impliqués dans la production de modèles BIM et l'amalgame entre la maquette de présentation, le modèle BIM et les outils de modélisation est encore très fréquent. La définition des besoins relatifs aux informations renseignées dans la maquette numérique est ainsi un travail essentiel pour la mise en place d'un projet BIM.

Dans ce contexte, et sous l'impulsion du directeur de projet, Setec a entrepris de réaliser les études du projet de réaménagement du nœud entre l'A36 et la

RN1019 à Sevenans, des phases AVP à PRO, par le biais de processus BIM les plus complets possibles. Le défi est réel car il n'existe pas actuellement de logiciel de modélisation qui soit capable de traiter un modèle d'une infrastructure linéaire en BIM dans sa globalité. Ce projet, d'un montant global de travaux estimé à 120 M€ HT, est situé sur le Territoire de Belfort. Il consiste en la construction d'un diffuseur de type double-trompette avec un barreau de liaison entre l'A36 et la RN1019, et la réalisation du réaménagement de la RN1019 sur 3,6 km.

Dix ouvrages d'art neufs et 5 existants adaptés, sont répartis sur les zones de section courante et dans les systèmes d'échanges. Ce projet offre un champ exploratoire très large pour le BIM infrastructures.

1- P111 superposé avec le scan 3D de l'ouvrage existant - scan Syntegra, modèle Setec.

1- P111 superimposed with the 3D scan of the existing structure - Syntegra scan, Setec model.

DES OBJECTIFS AMBITIEUX

Tout démarrage de projet commence par la définition de ses objectifs. Pour le projet de l'A36, dès le début des études, Setec a voulu franchir le pas de

l'automatisation de la production des plans des ouvrages d'art. Contrairement aux ouvrages en terre, pour lesquels de nombreux outils de modélisation existent depuis maintenant plus de deux décennies, les ouvrages d'art n'ont pas de logiciel de modélisation dédié.

Une équipe BIM regroupant des spécialistes en ouvrages d'art, tracé et modélisation a été constituée. Sa première mission a été de permettre la mise en place du BIM tout en conservant l'agilité requise pour les phases amont du projet.

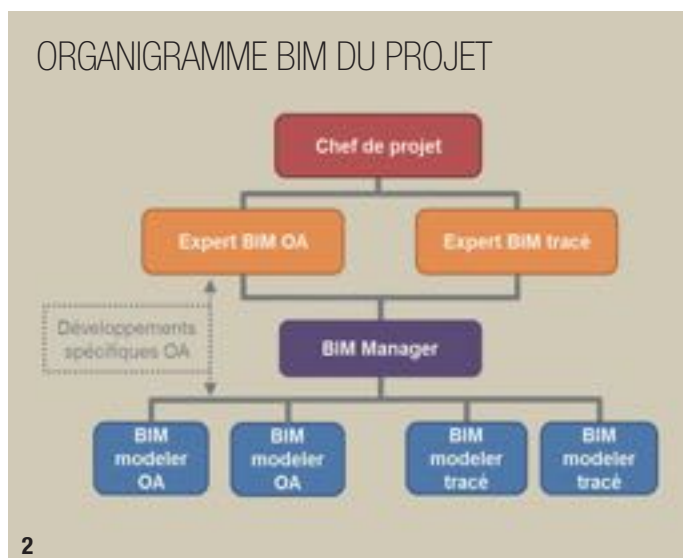
La motivation de cette équipe, localisée au sein des bureaux lyonnais de Setec, a su déclencher le vif intérêt de la direction de Setec, d'APRR (maître d'ouvrage de l'opération) ainsi que de l'ensemble des acteurs pour le travail exécuté en BIM (figure 2).

L'ANALYSE DU BESOIN

L'idée ambitieuse de réaliser l'intégralité du projet en BIM a été canalisée par les contraintes économiques du projet. Les ressources et les moyens humains impliqués ont été similaires à ceux d'un projet traité de manière « classique ». Pour étaler dans le temps des études l'impact d'une modélisation tout BIM, une analyse des usages BIM et de leur intérêt a été conduite. Les usages retenus ont été la synthèse des études, d'une part, et la communication avec le client, les collectivités et les riverains, d'autre part.

De ces usages a découlé la liste des ouvrages (éléments qui composent le projet) à modéliser. Leur classement par impact potentiel sur le projet a déterminé leur ordre de modélisation et le niveau de détails auquel ils devaient être modélisés.

L'analyse a également montré que, pour les usages retenus dans les phases d'études AVP à PRO, les données rattachées aux objets n'étaient pas indispensables. Quoiqu'il en soit, les logiciels de modélisation des infrastructures linéaires (Civil 3D, Covadis, Mensura, etc.) ne permettent actuellement pas de produire un export, dans un format Open BIM, de l'infrastructure et des données associées aux objets qui la constituent. Ce manque d'interopérabilités s'explique par le manque de formats OpenBIM spécifiques pour



2- Organigramme BIM du projet.

3- Exemple de processus sources 2D + Axes 3D vers modèle 3D de l'OA.

2- BIM flowchart of the project.

3- Example of process: 2D sources + 3D axes to 3D model of the structure.

les infrastructures. Ces formats sont en cours de rédaction ou de validation. Les éditeurs de logiciels pourront donc bientôt les intégrer à leurs outils.

EXIGENCES DES ÉTUDES

Les phases d'étude nécessitent une très grande réactivité dans la modélisation des ouvrages du projet. À la différence des plans 2D sur lesquels il est parfois suffisant de déplacer un trait et d'ajuster une cote, les modèles 3D imposent un travail plus conséquent en cas de reprise. Le cas d'usage « synthèse » retenu, impose une définition

relativement précise de l'enveloppe 3D des objets.

Les ingénieurs de Setec ont développé des outils spécifiques à la modélisation 3D des ouvrages d'art (OA). Les OA sont des points durs des projets d'infrastructure, au droit desquels les enjeux d'interfaces sont nombreux : interface avec l'ouvrage en terre, les réseaux et les voies existantes, etc. Cette spécificité se reflète dans l'organigramme de l'équipe BIM, au travers du lien privilégié existant entre l'expert BIM OA et les projecteurs OA. Ces échanges ont permis le développement d'outils spécifiques et d'assurer, au travers d'un processus d'échange itératif, la suppression de nombreuses tâches répétitives.

OUVRAGES D'ARTS, LE GRAND PAS EN AVANT

Dans le passé, les modélisations 3D des ouvrages d'art en phase conception ont souvent été réservées aux parties d'ouvrages possédant une singularité géométrique. La 3D apportait alors un réel gain en matière de compréhension et avait pour objectif essentiel de vérifier la faisabilité à un instant t de la phase d'étude et de communiquer avec les équipes projet. La mise à jour de la modélisation 3D de l'ouvrage n'était souvent pas assurée par la suite.

Dans ce contexte, les études de conception d'un ouvrage d'art étaient centrées sur l'établissement de plans 2D successivement mis à jour (plans généraux, plans de détails, plan de phasage, etc.) dont la cohérence et la complétude permettaient de juger de l'avancement général d'une phase d'étude.

Sur le projet de l'A36 Sevenans, l'équipe en charge de la modélisation des 10 ouvrages d'art avec un processus BIM a défini deux objectifs pour ces modèles 3D :

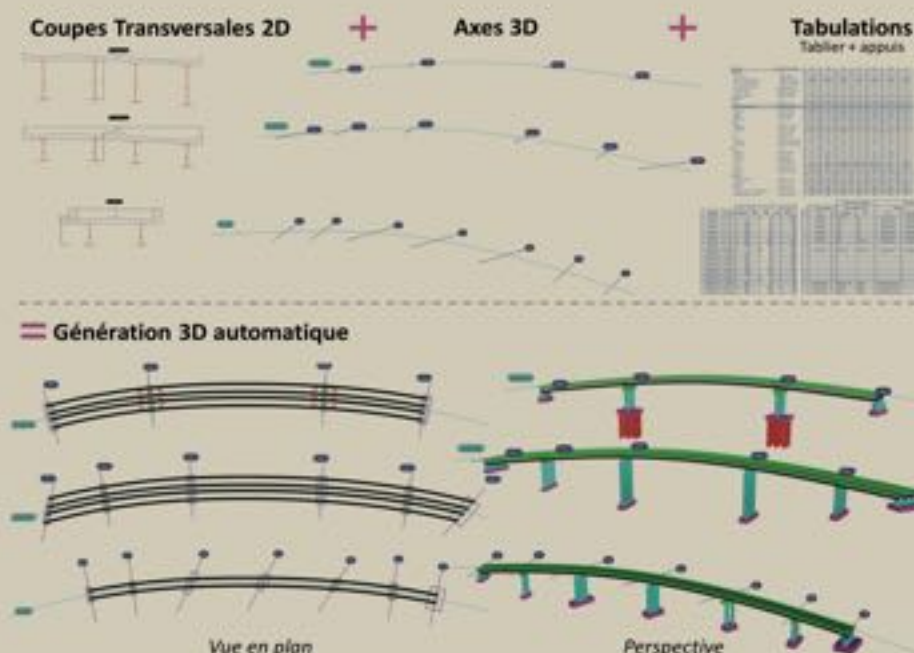
- Concevoir un modèle 3D pour chaque ouvrage afin d'alimenter la maquette de synthèse BIM réalisée par le BIM manager ;
- Maintenir à jour les modèles pour qu'ils rendent compte de l'avancement des études de conception des franchissements.

Les dossiers de plans 2D classiques des ouvrages restent les livrables contractuels de fin de phases AVP et PRO. Ces livrables 2D constituent la « base de données graphique⁽¹⁾ ».

Les procédures classiques d'études et de contrôle interne ont toujours reposé sur ce formalisme.

Le processus BIM impose que ces plans 2D soient dorénavant concordants avec les modèles 3D.

EXEMPLE DE PROCESSUS SOURCES 2D + AXES 3D VERS MODÈLE 3D DE L'OA



3
© SETEC

RETOUR EN 2015, ORIENTATION DES DÉVELOPPEMENTS

Préalablement au démarrage du projet en 2015, une phase exploratoire a été aménagée pour permettre de tester différents logiciels identifiés comme pouvant satisfaire notre objectif de modélisation 3D des ouvrages d'art ainsi que leurs capacités d'échanges de données avec nos outils traditionnels. Ces échanges pouvaient parfois être réalisés au travers d'un logiciel tiers. Après une comparaison multicritères (7 sous-besoins ; critères de réussite ou nécessité/possibilité de développement, et facilité d'usage), deux méthodologies de modélisation ont été retenues, une pour la phase AVP et une autre pour la phase PRO :

→ Phase AVP : l'accent a été principalement mis sur la flexibilité et la réactivité ;



4- PI14 et PI14bis, fondations par transparence, franchissement du canal de la Haute-Saône.

5- Illustration du positionnement de coupes et des sortants 2D associés.

→ Phase PRO, c'est le niveau de détail qui a primé.

Pour ce projet, le modèleur 3D Rhinoceros3D + Grasshopper, sans fonctionnalité BIM native, mais avec une flexibilité en modélisation volumique a été préféré à REVIT, standard BIM en bâtiment. Son environnement de développement intégré a facilité la création

d'outils métier et leur enchaînement dans le processus d'études BIM.

PHASE AVP : 2D VERS 3D

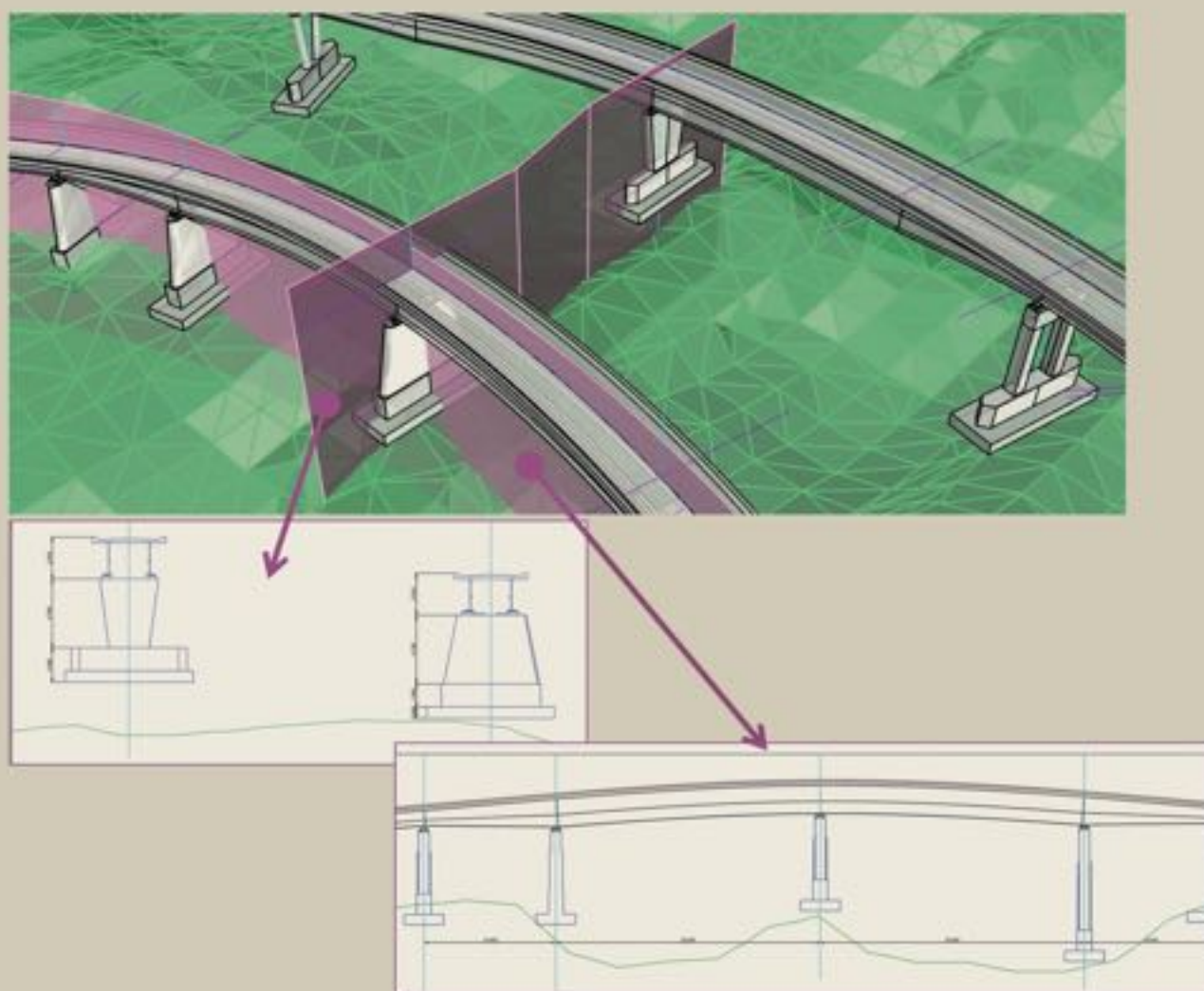
En phase AVP, le projet est mouvant, la géométrie des axes du projet varie fréquemment.

Différentes solutions techniques sont étudiées pour permettre de retenir la

4- PI14 and PI14bis, transparent foundations, crossing the Haute-Saône canal.

5- Illustration of the location of cross sections and associated 2D outputs.

ILLUSTRATION DU POSITIONNEMENT DE COUPES ET DES SORTANTS 2D ASSOCIÉS





6
© SETEC

6- Coupe sur l'échangeur trompette RN1019-Barreau.

6- Cross section on the RN1019/link-road trumpet junction interchange.

méthode constructive la plus adaptée au projet (figure 3).

Dans cette phase du projet, la modélisation des ouvrages doit ainsi se baser sur les axes en plans, les profils en long et les contraintes d'interfaces. Ces trois principaux critères étant amenés à fréquemment évoluer, une grande capacité d'adaptation est nécessaire.

La solution technique retenue pour les développements réalisés par les ingénieurs de Setec a été de s'appuyer sur des éléments 2D simples à produire pour générer les ouvrages en 3D.

Pour ce faire, les plans suivants ont été réalisés : coupe type de tablier, coupe type des appuis (piles, culées).

Le fil guide de l'ouvrage est, quant à lui, issu d'exports standardisés de la géométrie de l'axe du projet routier (vue en plan et profil en long). À partir de ces éléments et en utilisant ses outils spécialement développés, l'équipe du projet a automatisé la génération volumique des ouvrages.

Ce processus combinant 2D et la géométrie de l'axe pour obtenir une définition 3D, a conféré une réactivité proche du temps réel à chaque itération de conception ; le travail à réaliser par le BIM modeler consistant simplement à mettre à jour le cahier de plan 2D et/ou la définition de l'axe, puis à exécuter la génération du modèle 3D.

PHASE PRO : PHASE FULL BIM

Cette phase diffère de la phase AVP : une solution technique unique a été choisie et les niveaux de détails et d'exhaustivité sont augmentés.

La méthode de modélisation, et plus largement tout le processus de création des plans, ont dû être adaptés pour répondre aux exigences de cette phase d'études. Il n'est ici plus question de produire des plans 2D afin de créer un modèle 3D. C'est bien du modèle 3D que sont issus les plans 2D.

La modélisation d'un ouvrage d'art Projet se base sur l'axe 3D du projet

routier, des Modèles Numériques de Terrain (MNT) du terrain existant et de la section courante modélisée par les équipes de tracé. Dans le cas des OA existants, des levés terrestres LIDAR ont été réalisés pour permettre leur modélisation précise (figure 1).

La première phase consiste à assembler les différentes sources de données dans un fichier de ressources. Ce fichier contient la définition graphique des coupes types avec distinction des éléments longitudinaux (filants) et des éléments transversaux (à calepiner). La géométrie des élévations longitudinales, de la vue en plan (implantation,

découpes biaises), des fondations et des appuis y est également reportée. Dans un second temps, la modélisation de l'ouvrage d'art Projet est réalisée grâce à la compilation de ces éléments du fichier source.

Les outils développés par Setec, assurent la génération volumique automatisée (et structurée) du tablier, des appuis et fondations.

Le modèle de l'ouvrage d'art ainsi obtenu est presque entièrement construit. Seuls les éléments non répétitifs doivent être positionnés manuellement sur le modèle 3D.

La production des plans 2D de l'ouvrage est ensuite assurée par l'intermédiaire de coupes (planes ou courbes) positionnées à la demande par le BIM modeler. La charte graphique est automatiquement appliquée sur les objets des vues 2D et le choix de la représentation graphique se base sur la structure des données du modèle 3D. Le complément d'annotations reste à la charge du BIM modeler (figure 4). Cette méthode de travail en phase PRO permet un travail itératif d'une efficacité

redoutable pour la finalisation du cahier de plans constituant le livrable. Même si sa souplesse dans le cas d'une reprise complète de l'ouvrage n'atteint pas celle du modèle 2D vers 3D, elle permet également d'intégrer les modifications de données de conception. La modification de l'axe 3D est sans doute l'adaptation la plus fréquemment à l'origine des modifications du modèle de l'ouvrage en phase PRO. Le changement d'implantation des appuis ou l'ajustement des dimensions structurelles après calculs conduisent eux-aussi à la reprise du modèle et du cahier de plans associé.

Sur le projet de l'A36, dans le contexte de développement des outils, les nombreux allers-retours entre les BIM modelers et l'expert BIM OA ont permis d'affiner les procédures et de valider les développements. Désormais, suite à la modification d'un ou de plusieurs paramètres, la mise à jour du cahier de plans est presque instantanée.

Il résulte de la modélisation systématique des ouvrages et de la production automatisée des plans une meilleure vision du projet dans sa globalité. Des objets qui étaient jusqu'ici étudiés de façon partielle en PRO sont désormais facilement appréhendables dans l'environnement 3D de la maquette.

Par exemple, l'enveloppe des blocs techniques et plus particulièrement les interfaces (avec d'une part les remblais de la section courante et d'autre part le MNT définitif) sont désormais calculées de manière systématique.

L'emprise de cette partie d'ouvrage est ainsi sécurisée (figure 5).

L'INNOVATION AU SERVICE DU PROJET

GHISLAINE BAILLEMONT, DIRECTRICE DE L'INNOVATION, DE LA CONSTRUCTION ET DU DÉVELOPPEMENT - APRR

« APRR a la volonté de mettre en œuvre les moyens innovants les mieux adaptés pour que les projets d'aménagement et de mobilité que nous portons soient réalisés dans les délais prévus, avec un niveau technique optimum, et en respectant l'environnement, les usagers et les riverains. La démarche BIM engagée sur le projet de l'A36 à Sevenans est en adéquation avec les valeurs qu'APRR souhaite promouvoir. Notre volonté est de développer l'usage du BIM pour toutes nos opérations d'aménagement dans les années à venir.

Les revues de projet avec Setec ont été facilitées grâce à l'utilisation du modèle BIM. Ce dernier nous a permis d'avoir une meilleure lisibilité des enjeux et des contraintes représentés dans un environnement 3D. La nécessité d'une concertation et d'une communication adaptée avec les collectivités et leurs élus n'est plus à démontrer. Pour répondre à ces enjeux, la lecture de plans 2D n'est pas adaptée et son remplacement par une navigation dans un environnement 3D permet de mieux appréhender l'intégration du projet dans son site naturel. Les échanges sont ainsi facilités et permettent un vrai partage des enjeux du projet. »

TOUTE L'INFRASTRUCTURE EN MODE BIM

Dans les projets d'infrastructure, les éléments qui marquent les usagers sont généralement les ouvrages d'art, principalement les viaducs. Dans le BIM comme sur les chantiers, ils ne représentent qu'une petite partie (en nombre) des ouvrages nécessaires à la réalisation d'un projet d'infrastructure. ▷

Il n'y a en effet pas d'ouvrage sans accès routier, pas de route sans terrassements, etc.

Si l'on considère tous les objets construits autour de l'axe du projet, le défi est de taille : réseaux secs, réseaux humides, merlons paysagers, protections acoustiques, rescindement de cours d'eau, mesures environnementales, dépôts, zones d'emprunt, dispositifs de retenue, signalisation au sol, signalisation verticale, chaussées, terrassements, etc. sont autant d'objets qu'il faut modéliser pour répondre aux objectifs initialement fixés.

À ces objets du projet, il faut également ajouter les objets de l'existant comme le MNT, les habitations, la végétation, le réseau routier, etc.

Cette liste non exhaustive est également la démonstration que les infrastructures sont constituées d'un assemblage d'ouvrages hétéroclites.

Des données 3D des ouvrages en terre (déblais et remblais des voies créées, bassins de rétention, modelés paysagers, ...) sont communément produites dans les phases d'étude des projets, mais ne sont pas pleinement exploitées. Leur intégration dans la maquette BIM redonne du sens au travail des projeteurs/BIM modelers qui réalisaient des modèles 3D parfois complexes pour une production graphique 2D réductrice. Le travail des BIM modelers devient plus ludique et plus efficace, facilite la compréhension des éventuels problèmes d'interfaces et permet l'exploitation complète des modèles produits.

OPTIMISATION DU PROCESSUS D'INTÉGRATION

Dès la phase AVP, la création puis l'extraction des données 3D de tous les objets de l'infrastructure a été systématisée. Les données brutes issues de nombreux progiciels n'étaient pour la plupart pas directement intégrables dans la maquette. La non-existence de formats d'échanges standardisés pour les infrastructures (IFC, InfraGML, ...), a conduit à un traitement spécifique. Le BIM manager a ainsi développé des outils pour structurer uniformément les données 3D du projet, quelle que soit leur source, et appliquer des textures aux différentes zones du modèle 3D (différenciation des talus des zones de chaussée par exemple).

L'utilisation de chartes de structuration des modèles ainsi que le développement d'algorithmes de traitement ont contribué à l'optimisation de cette phase de post-intégration à la

PLATEFORME ROUTIÈRE (RN1019) SANS ET AVEC MARQUAGE AU SOL



7

© SETEC

maquette, afin de réduire l'intervention humaine au minimum. La réactivité qui en a découlé a permis aux équipes de Setec de travailler sur une maquette qui reflétait en temps réel l'avancée des études. Ceci a constitué un confort non négligeable pour la direction du projet (figure 6).

ADAPTER LA MAQUETTE À L'HUMAIN

Pour communiquer autour de la maquette au sein de ses équipes et avec son client, Setec a dû la rendre compréhensible. La simple représentation de volumes 3D n'était pas suffisante. Ceci est particulièrement vrai pour la plateforme routière. La figure 7 en est la démonstration : l'absence de représentation du marquage au sol empêche la bonne lecture du projet. Or, dans les phases initiales du projet,

7- Plateforme routière (RN1019) sans et avec marquage au sol.
8- Rescindement de la Douce, P112bis et P113.

7- Roadbed (RN 1019) without and with road markings.

8- Bank redevelopment works on the Douce, P112bis and P113.

ces éléments ne sont pas exigés dans les dossiers.

L'équipe du projet a donc dû adapter sa production pour répondre à ces nouvelles exigences de compréhensibilité induites par l'utilisation du BIM.

AMÉLIORER LA COMMUNICATION ET LES ÉCHANGES

La constitution d'un modèle 3D n'est pas suffisante pour parler de BIM. Le BIM passe par l'échange, le contrôle et la validation. Les revues de projet hebdomadaires ont permis à l'ensemble de l'équipe projet de comprendre l'utilité du BIM auquel elle a très vite adhéré. Basées sur les modèles "en l'état", elles reflétaient l'avancement des études et ont été très utiles dans l'analyse des zones d'interfaces multiples. Une zone en particulier a fait l'objet de nombreux échanges : le rescindement du cours d'eau de la Douce. Cette zone concentrait de nombreuses contraintes environnementales du fait de la présence du cours d'eau. Grâce à la contextualisation dans un environnement 3D, la géométrie et l'implantation des ouvrages d'arts et de leurs blocs



8

© SETEC

techniques ont pu être sécurisées très tôt dans les études (figure 8).

Dans cette dynamique d'utilisation régulière de la maquette BIM, les échanges avec le maître d'ouvrage APRR ont été simplifiés. Setec a pu présenter l'avancement des études à APRR au travers des plans papiers habituels et les corrélés avec le visuel 3D.

Les échanges autour des questions nécessitant l'approbation du maître d'ouvrage ont également bénéficié de la visualisation 3D.

L'UTILISATION CRÉE L'USAGE

L'appropriation des maquettes de synthèse par les différents acteurs du projet a fait naître sur le projet de l'A36 des usages qui n'avaient pas été identifiés initialement. C'est dans cette création d'usages que le BIM prend tout son sens !

Les modèles ont par exemple été utilisés pour positionner des caméras de vidéosurveillance de la route. Le positionnement de ces équipements est habituellement réalisé par des essais in situ. L'utilisation du BIM est venue remplacer ces essais sur site. Cette appréciation est donc plus rapide et moins coûteuse. Elle permet également l'étude de multiples solutions pour ne retenir que la plus efficace.

Une autre demande, venue des architectes paysagistes de Setec, a consisté à utiliser la maquette pour valider le positionnement des végétaux afin d'assurer une meilleure intégration paysagère du projet. Avec l'aide du BIM manager, la modélisation de l'évolution de ces végétaux dans le temps a été réalisée. Elle a fourni une vision de l'infrastructure à sa mise en service puis à 5 ans et à 20 ans. Le choix des essences et de la taille des végétaux a ainsi été rendu compréhensible, y-compris pour les non-initiés (figure 9).

9- Végétation à la mise en service puis à 5 et 20 ans : sortie brute de la maquette.

9- Vegetation at commissioning and then at 5 and 20 years: raw model output.

CONCLUSION

La démarche BIM a concerné environ 23 personnes chez Setec : ingénieurs, BIM managers et BIM modelers.

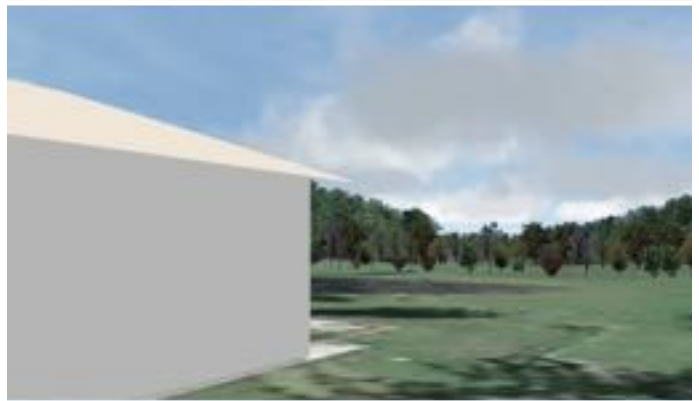
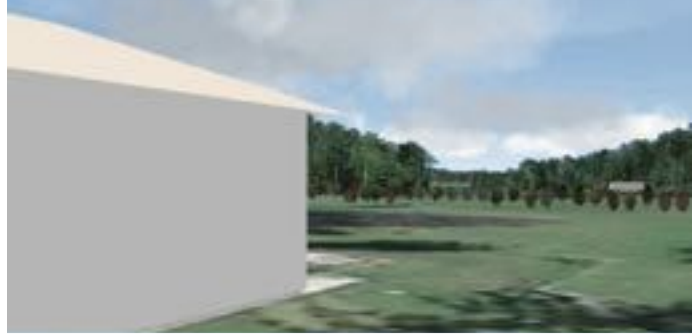
Cette équipe motivée et enthousiaste a modélisé 111 ouvrages (ouvrages unitaires de la maquette) afin de réaliser la maquette BIM de l'A36 Sevenans. Pour aider les entreprises dans la compréhension du projet, le modèle de données de 2Go a été fourni au DCE. Il est dès à présent utilisé dans la phase d'EXE où de nombreux usages sont envisagés.

Au-delà, la réflexion est engagée sur les bénéfices qu'apportera indubitablement l'usage de la maquette BIM en phase d'exploitation et pour la maintenance des ouvrages.

La démarche BIM Infra est maintenant adoptée par toute la chaîne décisionnaire de Setec.

Elle sera mise en œuvre sur la plupart des nouvelles études des projets d'infrastructure. □

1- Ces représentations graphiques contiennent effectivement l'ensemble des informations permettant la définition d'un ouvrage d'art (type d'ouvrage, dimensions, positions des appuis, etc.). En étudiant ces plans avec une approche base de données informatique, on constate que les données qui y sont stockées sont mises en forme et non brutes. La plupart de ces données sont dupliquées de nombreuses fois. En conséquence, les ressources humaines nécessaires au maintien de leur intégrité sont très importantes. De plus, l'extraction de ces données dispersées passe obligatoirement par un traitement manuel.



9 © SETEC

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Montant opération : 120 M€ HT
- 3,6 km de mise à 2x2 voies
- Diffuseur trompette entre RN1019 et A36
- ½ diffuseur sur la RD437
- 10 ouvrages d'art neufs (9530 m²) et 5 ouvrages d'art existants modifiés

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : APRR
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec als (mandataire) / Setec international / Setec tpi / NOX ingénierie (ST)
- ARCHITECTE : Strates OA, Hervé Vadon

ABSTRACT

LINEAR INFRASTRUCTURE: THE NEW CHALLENGE FOR BIM

DENIS LE ROUX, SETEC ALS - JEAN-YVES SABLON, SETEC ALS - ANTOINE TASTARD, SETEC ALS

The characteristics of the A36 Sevenans Node project, combined with the shared goal of APRR and Setec to innovate in the field of BIM, made it possible to develop an Infra BIM approach on this project. The required software development work was performed by the Setec teams, in particular for the 3D design of engineering structures. Project management evolved to allow for this approach, and finally received the approval of the project team, given the benefits of the applications produced by Infra BIM. All in all, a high-quality project delivered on schedule, and numerous prospects opened up for future projects to be dealt with by Infra BIM. □

LAS INFRAESTRUCTURAS LINEALES: EL NUEVO DESAFÍO DEL BIM

DENIS LE ROUX, SETEC ALS - JEAN-YVES SABLON, SETEC ALS - ANTOINE TASTARD, SETEC ALS

Las características del proyecto A36 Nœud de Sevenans, combinadas con la voluntad común de APRR y Setec de innovar en el ámbito del BIM, han permitido desarrollar un procedimiento BIM Infra en este proyecto. Ello ha precisado desarrollos en el ámbito del software, realizados por los equipos Setec, en especial el diseño en 3D de las obras de fábrica. La gestión del proyecto ha evolucionado para integrar este procedimiento, y finalmente ha contado con la adhesión del equipo de proyecto, consciente del interés que presentan los usos creados por el BIM Infra. El resultado ha sido un proyecto de calidad, entregado en los plazos convenidos, que abre numerosas perspectivas sobre los futuros proyectos gestionados mediante el BIM Infra. □

LA GESTION DES INTERFACES BIM INFRA SUR LE PROJET DU GRAND PARIS EXPRESS

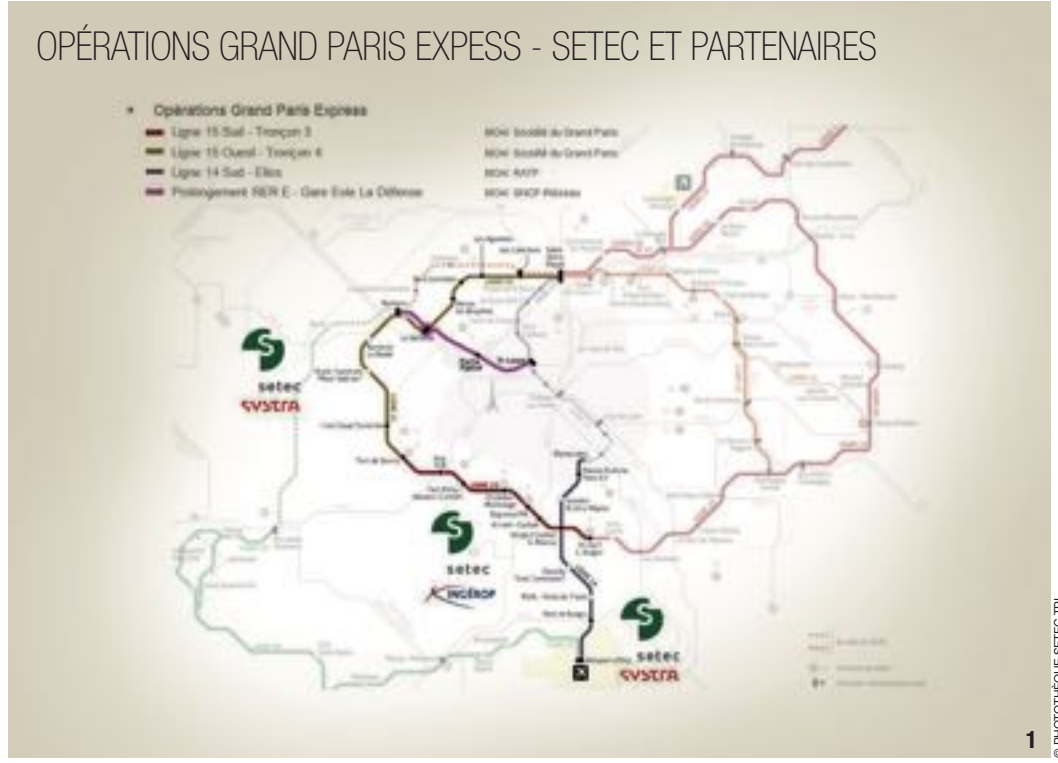
AUTEURS : GUILLAUME HERVOCHES, BIM MANAGER, SETEC TPI - NICOLAS HORSIN, BIM MANAGER, SETEC TPI

LA RÉUSSITE D'UNE OPÉRATION MENÉE EN BIM RÉSIDE DANS LA BONNE DÉFINITION ET LA JUSTE MAÎTRISE DES INTERFACES DU PROJET. POUR L'ÉTUDE DES GARES DU GRAND PARIS EXPRESS SOUS LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DE SETEC, LES INTERFACES S'ENTENDENT AUSSI BIEN DANS LA GESTION ET LE CONTRÔLE DES ÉCHANGES ENTRE LES ACTEURS DU PROJET QUE DANS L'INTERACTION AVEC LES DONNÉES EXISTANTES ET LES PROJETS TIERS. L'APPROCHE BIM APPORTE DES RÉSULTATS PROBANTS MAIS AUSSI DE NOUVELLES EXIGENCES.

Le groupe Setec est un acteur majeur du programme d'aménagement du Grand Paris Express, pour lequel il assure des missions de maîtrise d'œuvre, d'assistance à maîtrise d'ouvrage, d'expertise et de diagnostic. Mandataire des groupements de maîtrise d'œuvre infra des lignes 15 Sud, 15 Ouest et 14 Sud, Setec encadre les études tous corps d'état sur les gares, les ouvrages annexes ainsi que les tunnels.

1- Opérations Grand Paris Express - Setec et partenaires.

1- Grand Paris Express operations - Setec and partners.



Ces documents sont réalisés en s'appuyant sur les exigences de la démarche BIM décrite dans le guide de production BIM de la Société du Grand Paris :

- **Guide de production (BEP) :** document décrivant les méthodes organisationnelles et traduisant la stratégie BIM à déployer pour le projet au fur et à mesure des phases de production (objectif, organigramme, standardisation, codification, processus collaboratif BIM ...);
- **Guide de modélisation :** document décrivant le principe de modélisation des objets BIM ainsi que leurs paramètres en fonction du métier concerné ;
- **Gabarit Revit :** fichier de base par métier regroupant toutes les informations du guide de production. Ce fichier permet par la suite la création de la maquette métier.

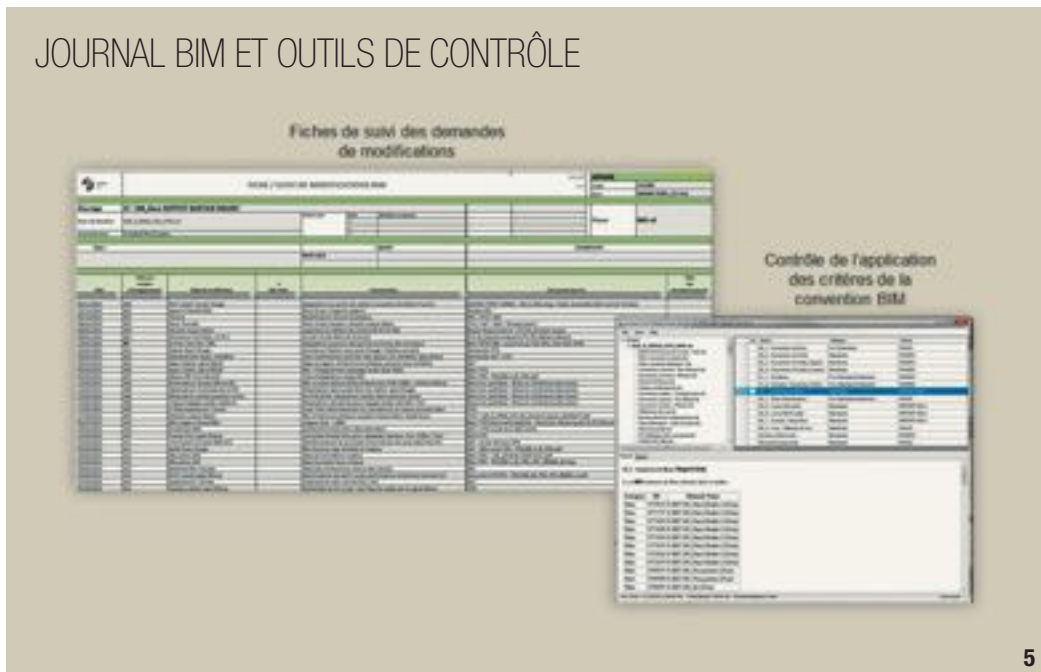
Afin que le travail collaboratif soit le plus efficace entre les différents intervenants, on a choisi de mettre en place une maquette projet qui combine l'ensemble des maquettes métiers et leur communique les coordonnées de l'ouvrage ainsi que les données fixes de chaque gare, tels que les axes et les niveaux (figure 2). Par la suite, les maquettes de chaque corps d'état (maquette métier) issues du Gabarit Revit sont créées et s'enrichissent sur la base des prescriptions du guide de production.

Pendant la phase de production, une bonne gestion des interfaces entre les différents métiers est essentielle afin de garantir des études coordonnées et homogènes. Dans cette optique, Setec a défini les méthodologies de travail et procédures de contrôle suivantes sur les gares du Grand Paris.

TRAVAIL COLLABORATIF

Sur une gare type, trois intervenants entrent en jeu dans la modélisation ; la structure, l'architecture et les corps d'état techniques. Une coordination efficace des études demande des échanges réguliers de maquettes entre disciplines. À chaque diffusion, les modèles sont remis accompagnés d'un "journal BIM", renseigné par l'opérateur métier, qui est la mémoire de l'organisation BIM de chaque gare. Toutes les informations ayant trait à l'organisation des maquettes y figurent et tous les intervenants du projet peuvent s'y référer, ce qui en facilite grandement la lecture. La réussite des échanges de maquettes nécessite que chaque contributeur applique une codification rigoureuse de ses objets BIM.

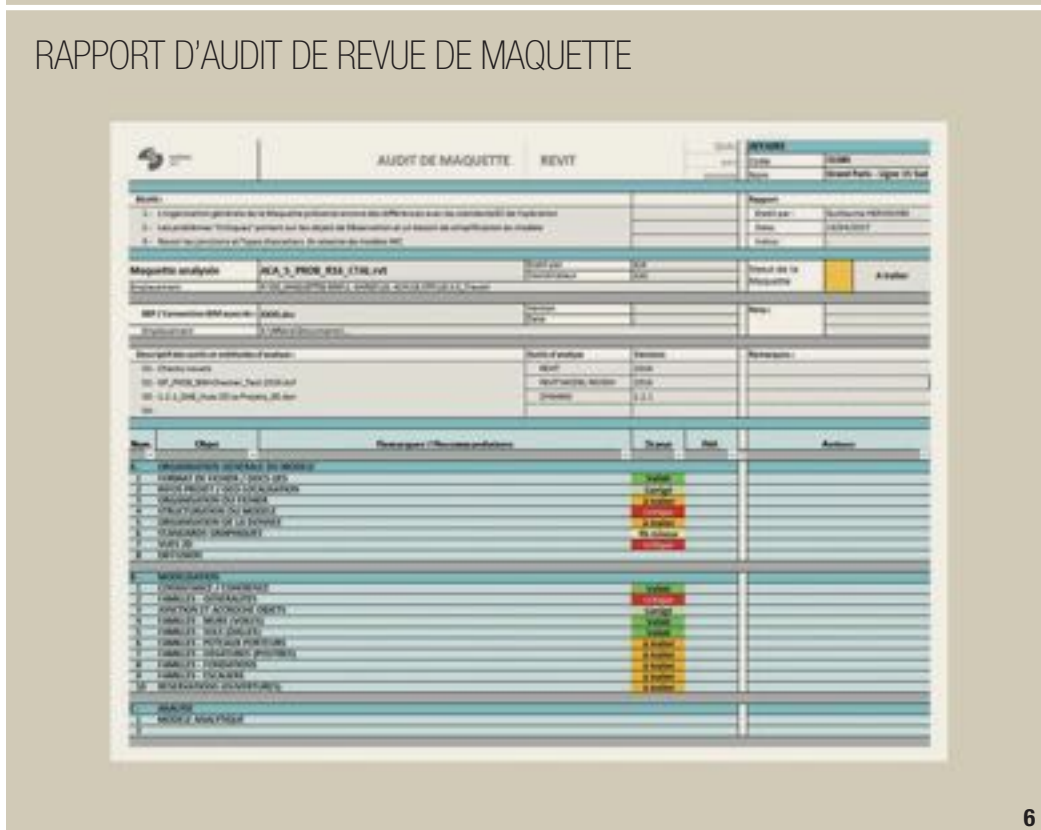
JOURNAL BIM ET OUTILS DE CONTRÔLE



5

© PHOTO THÉQUE SETEC TPI

RAPPORT D'AUDIT DE REVUE DE MAQUETTE



6

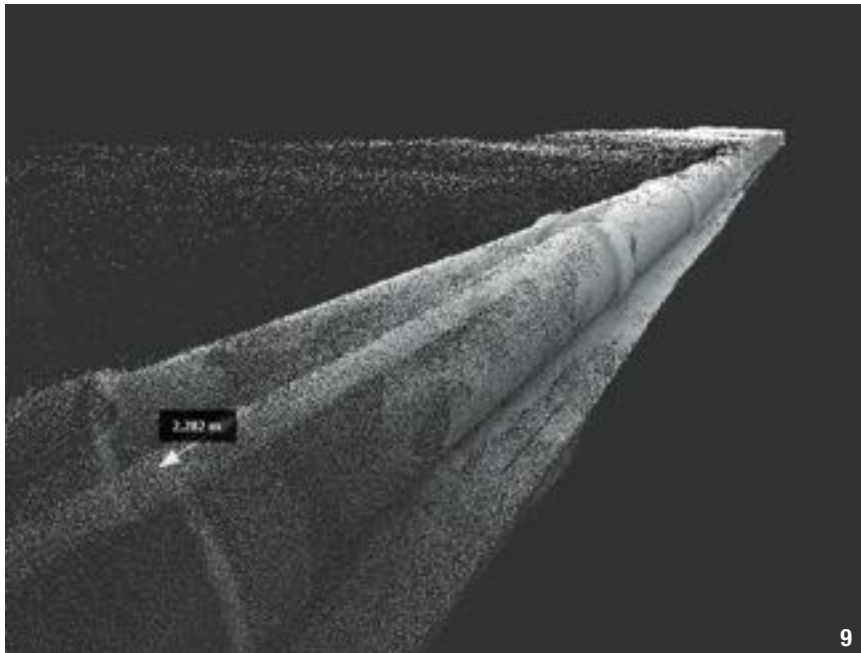
© PHOTO THÉQUE SETEC TPI

Tous les objets ou les vues de projet créés suivent le système de codification propre à sa discipline. Cela permet d'en identifier plus facilement l'origine, voire, si besoin, d'autoriser la modélisation ponctuelle d'éléments d'un autre corps d'état dans son modèle tout en gardant un moyen rapide d'en contrôler la nature et la provenance. Ces éléments peuvent alors être placés dans un sous-projet de coordination qui permettra d'en organiser la visibilité (figure 3).

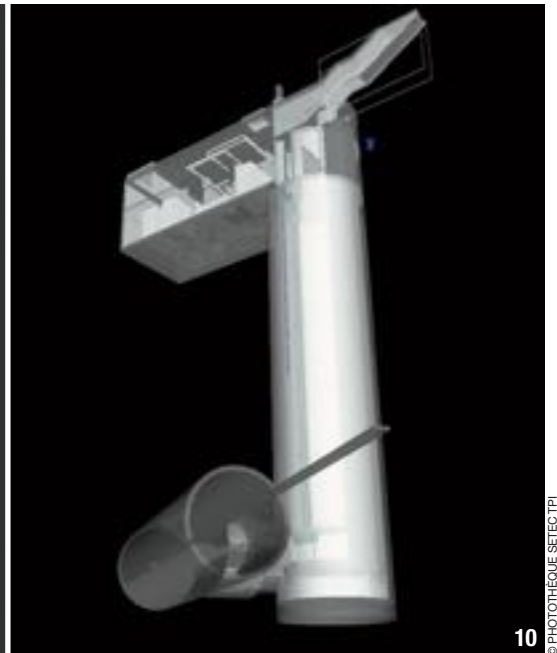
- 5- Journal BIM et outils de contrôle.**
- 6- Rapport d'audit de revue de maquette.**
- 5- BIM log and monitoring tools.**
- 6- Model review audit report.**

REVUE DE MAQUETTE

Lors des échanges de maquettes entre les différents métiers et avant toute diffusion au client, il faut s'assurer que les modèles soient bien conformes au guide de production. Pour cela, Setec a mis en place des étapes de revue de maquette qui ont pour but d'analyser l'état d'avancement des projets sous maquette numérique et de valider leur conformité aux règles de modélisation. Cette revue de maquette fait partie



9



10

© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

Ainsi, par exemple, entre le tracé du tunnel et l'ouvrage de la gare, ce sont les contraintes liées aux besoins métiers qui déterminent le choix des outils de conception les plus appropriés.

Pour le tunnel, la méthode de modélisation ne se fait pas nativement sous BIM mais à l'aide de maillages 3D définis selon les modes d'analyse des lois de comportement physiques et techniques permettant de dimensionner l'ouvrage (interaction sol structure, stabilité et tassement géotechnique, calcul de dimensionnement, ...).

Quant aux gares, ce sont davantage les contraintes fonctionnelles et les besoins de coordination entre lots techniques et architecturaux qui imposent naturellement l'emploi de la maquette numérique BIM.

Entre ces deux domaines, le dénominateur commun des échanges est surtout celui de la 3D.

Pour les études du Grand Paris Express, Setec a mis en place un protocole de transfert de données qui permet de produire une modélisation 3D du tunnel sous le logiciel Revit depuis le profil en long de l'ouvrage récupéré au format .xml, ou par coordonnées de points (figure 7).

Mais cette méthode présente, pour l'instant encore, une rupture dans la chaîne d'information de la donnée entre les modèles des équipes tunnel et la maquette BIM.

UNE MEILLEURE GÉOLOCALISATION DES OUVRAGES

Un autre enjeu important du travail collaboratif sous BIM est celui du

géo-référencement des ouvrages, particulièrement en ce qui concerne les ouvrages ferroviaires, si l'on considère l'entrée en gare de matériels roulants qui demandent une précision millimétrique dans la position de leurs rails.

Il a été constaté que les différents outils de conception BIM n'exploitent pas nécessairement le même système de référentiel géographique, ce qui peut amener à de légers écarts dans la géolocalisation des modèles lors de leur assemblage (figure 8). Pour y remédier, il est préférable d'uti-

9- Scan 3D d'un réseau existant.

10- Raccordement tunnel / ouvrage annexe.

11- Analyse de réalisation de modèle IFC.

9- 3D scan of an existing network.

10- Tunnel/ancillary structure connection.

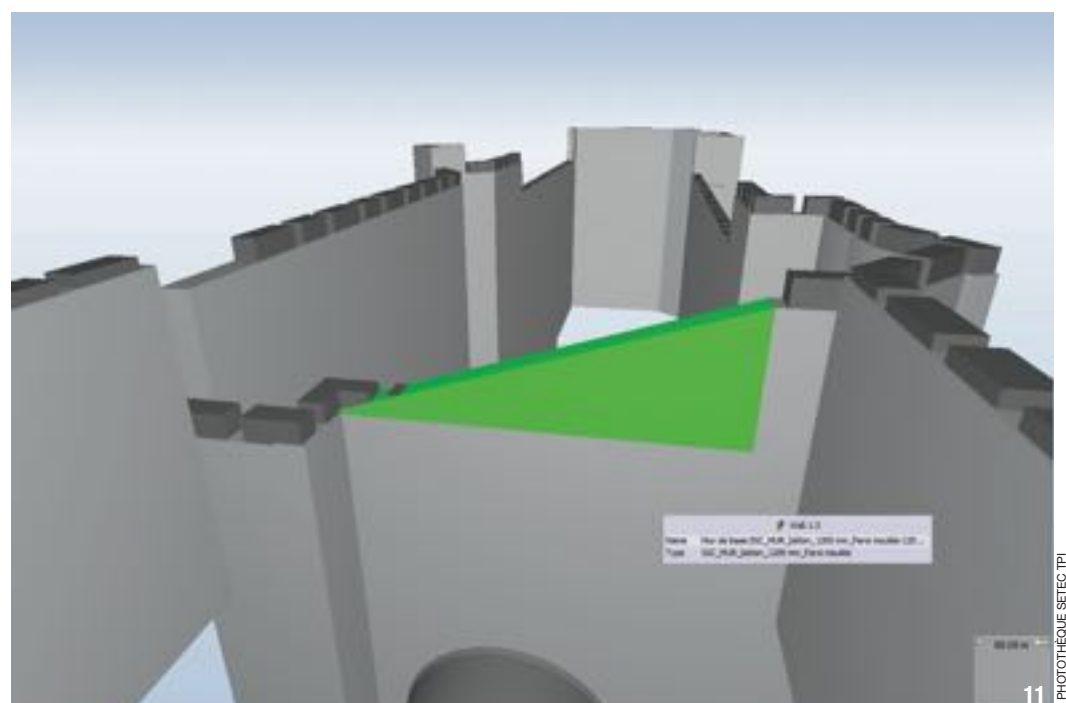
11- Analysis of IFC model execution.

liser les coordonnées d'un référentiel tiers issu d'un logiciel métier de gestion de données géographiques SIG, qui sont ensuite réinjectées dans les modèles BIM.

Là encore, par transfert de données afin d'en garantir l'intégrité et une meilleure traçabilité.

Mais cette question du géo-référencement se pose aussi lors de la réception ou de la diffusion de données BIM vers un projet élaboré par un tiers sous un autre système référentiel.

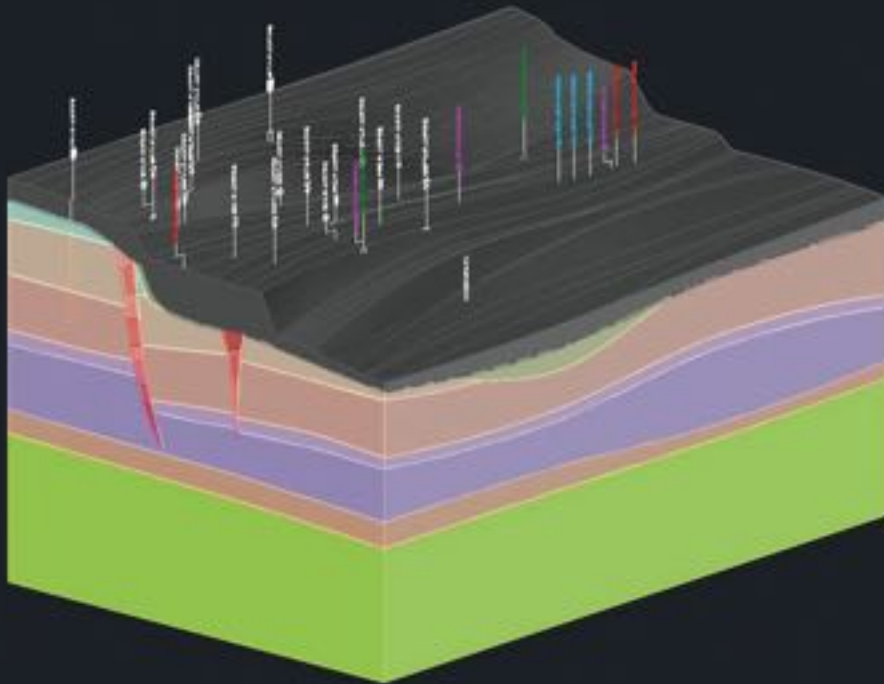
Sur plusieurs gares, ont été reçus des nuages de points saisis par scan-



11

© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

REPRÉSENTATION DU SOL 3D AUTOCAD



12- Représentation du sol 3D Autocad.

13- Représentation du sol 3D Revit.

12- Autocad 3D representation of the soil.

13- Revit 3D representation of the soil.

messes et est-il en mesure d'apporter la réponse attendue à cette question d'interface ?

Sans aucun doute dans un avenir proche mais, à l'heure actuelle, trop de freins techniques empêchent encore d'obtenir un résultat pleinement satisfaisant.

Ainsi, les exports IFC de certaines formes complexes perdent-ils en définition géométrique, surtout que la granularité de l'information des modèles IFC reste uniforme quels que soient sa phase ou son niveau de développement.

Ceci pose un problème de définition hiérarchique et de fiabilité des informations reçues (figure 11).

Néanmoins, à l'instar du DOE numérique, les maquettes des projets réalisés aujourd'hui seront demain les données d'entrée BIM fiabilisées d'opérations de maintenance et d'adaptations à venir des ouvrages du Grand Paris Express.

LE BESOIN EN NORMALISATION

C'est pourquoi le besoin de normalisation est une étape essentielle qui permettra d'assurer à l'avenir la fiabilité des données, une meilleure identification de leur source et la garantie de leur exactitude.

À ce titre, le groupe Setec, conscient de l'enjeu du besoin en normalisation des standards BIM, est engagé dans les principaux groupes de réflexion nationaux afin de contribuer à un meilleur usage des données des maquettes numériques et de faire partager son expérience métier de l'étude et du management BIM de grands projets comme ceux du Grand Paris.

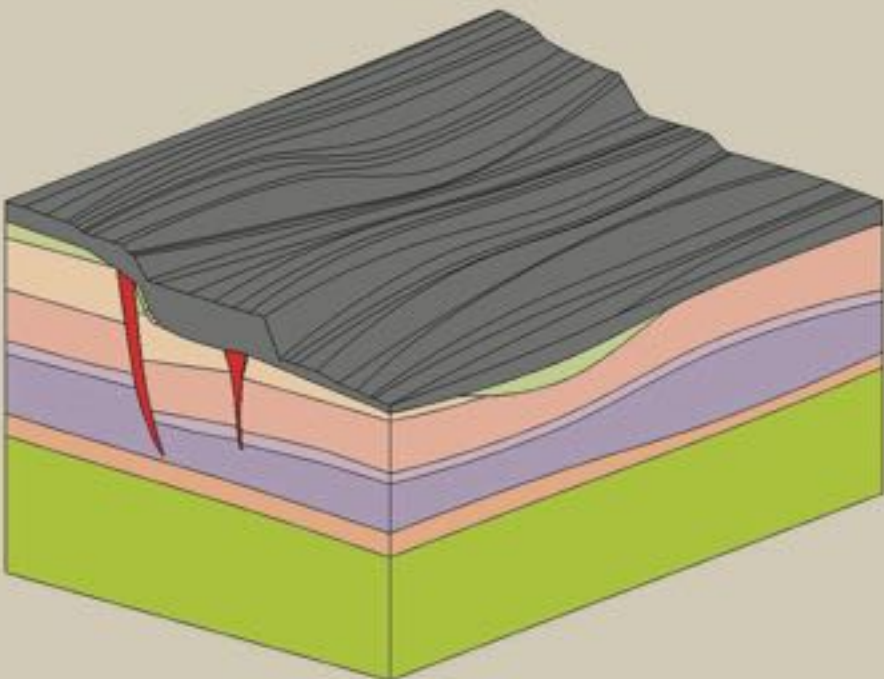
FOCUS TECHNIQUE INTERFACE 3D GEOTECHNIQUE ET OUVRAGE GARE

La connaissance des contraintes géotechniques est une donnée essentielle des projets d'infrastructure. ▷

© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

12

REPRÉSENTATION DU SOL 3D REVIT



© PHOTOTHÈQUE SETEC TPI

13

ner 3D d'ouvrages existants qui, après traitement, apportent une information géométrique surfacique précieuse mais trop souvent incomplète pour un ouvrage enterré (figure 9).

Enfin, à titre d'exemple, le raccordement d'alimentation des équipements techniques du système entre tunnel

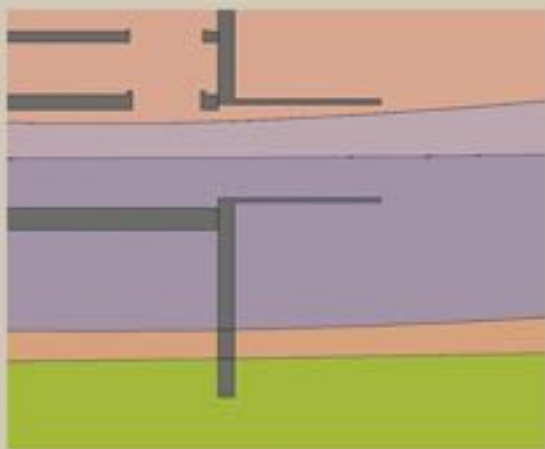
et gare, ou entre la future gare et les correspondances d'une ligne déjà existante, est un enjeu d'interface qui dépasse les seules caractéristiques géométriques des ouvrages et nécessite un principe de « piquage » digital entre les maquettes numériques (figure 10).

LES PROMESSES DU FORMAT IFC

Pour travailler plus efficacement, le format d'échange de fichiers demeure une problématique essentielle du processus de travail en BIM.

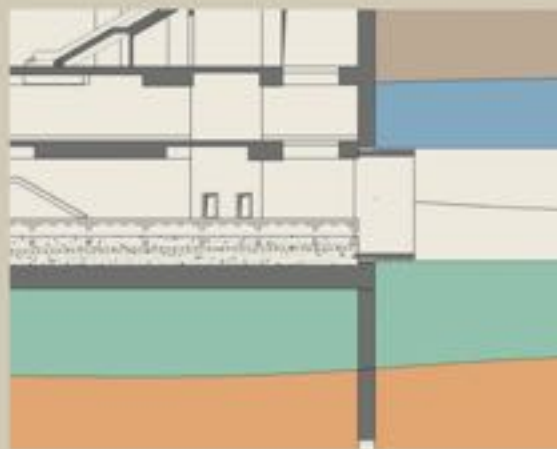
À ce titre, le principe d'interopérabilité du format IFC tient-il bien ses pro-

SOL SANS DÉCOUPAGE DE L'OUVRAGE



14

SOL AVEC DÉCOUPAGE DE L'OUVRAGE



15

© PHOTO THÉQUE SETEC TPI

Sur plusieurs des gares, en complément des maquettes numériques des ouvrages, il a été choisi d'intégrer une modélisation 3D précise des terrains avec Terrasol, filiale de Setec.

Une première approche consistait simplement à extruder en volume les logs des sondages géologiques réalisés autour du projet, mais se posait alors la question de la représentativité spatiale de ces extrusions. Une méthode de modélisation 3D plus complète et compatible avec les maquettes BIM a été mise en place depuis.

LA MODÉLISATION DU TERRAIN PAR SETEC TERRASOL

Deux cas de figures sont possibles :

→ **La géologie est simple** : la modélisation passe par un semis de points 3D pour chacune des couches de sol.

Ces semis permettent de construire

des faces, elles-mêmes extrudées sous forme de solides 3D, uniques pour chaque couche.

→ **La géologie est complexe** (système de faille, couches de sol en escalier, etc.) : on part alors de coupes géologiques 2D préalablement dessinées par le géologue, et régulièrement espacées le long du futur modèle.

Les interfaces de sols de ces coupes 2D sont implantées en 3D le long du futur modèle.

Ainsi implantées, elles sont lissées dans Autocad sous la forme de surfaces 3D. Une fois que cela est réalisé pour l'ensemble des couches de sol, failles et contours de modèle, on obtient des « boîtes hermétiques » qui sont transformées en solides 3D avec une commande Autocad pour chacun de ces éléments de géologie (figure 12).

14- Sol sans découpage de l'ouvrage.

15- Sol avec découpage de l'ouvrage.

14- Soil without breakdown of the structure.

15- Soil with breakdown of the structure.

TRANSFERT DES COUCHES DE SOLS EN FAMILLE REVIT (.RFA)

Pour exploiter le résultat obtenu en 3D dans la maquette BIM il ne reste plus qu'à transformer les volumes Autocad en familles Revit.

Pour cela nous exportons chaque couche de sols du fichier Autocad en éléments (.sat). Ces fichiers (.sat) sont insérés couche par couche dans des familles de volumes conceptuels. En décomposant ces volumes dans Revit, cela permet d'exploiter le modèle entier comme un élément natif du logiciel. Dès lors, on peut appliquer les propriétés des matériaux et autres paramètres aux couches géologiques (figure 13).

INTÉGRATION DES VOLUMES DE COUCHES DE SOLS DANS LA MAQUETTE REVIT

Dès lors il ne reste plus qu'à venir insérer chaque famille de volume de sols dans la maquette Revit de l'ouvrage gare. Puis d'assembler l'ensemble des couches de sols afin de retrouver la géologie de base de l'ouvrage (figures 14 et 15). □

ABSTRACT

INFRA BIM INTERFACE MANAGEMENT ON THE GRAND PARIS EXPRESS PROJECT

GUILLAUME HERVOCHES, SETEC TPI - NICOLAS HORSIN, SETEC TPI

Interface management is an essential issue for the success of a BIM operation. *On the Grand Paris Express projects under Infra Setec project management, BIM makes it possible to produce a preliminary real-time synthesis of the projects. To achieve this, a precise organisation and frequent BIM progress reviews are required. The BIM interfaces apply both between special features of a structure, between the various structures themselves, or the structures in relation to the context, illustrated in the Setec method for incorporation of geotechnical data. A successful BIM approach requires regular monitoring and skills upgrading for those involved in the project, so that they all share good BIM reflexes.* □

LA GESTIÓN DE LAS INTERFACES BIM INFRA EN EL PROYECTO DEL GRAND PARIS EXPRESS

GUILLAUME HERVOCHES, SETEC TPI - NICOLAS HORSIN, SETEC TPI

La gestión de las interfaces es un desafío básico para el éxito de una operación BIM. *En los proyectos del Grand Paris Express, impulsados por infra Setec, el BIM permite realizar la presíntesis en tiempo real de los proyectos. Para lograrlo, se requiere una organización precisa y frecuentes revisiones de los progresos del BIM. Las interfaces BIM se aplican tanto a las especialidades de una obra como a las distintas obras entre sí o a su relación con el contexto, como ilustra el método de Setec de integración de datos geotécnicos. Un procedimiento BIM exitoso exige un seguimiento periódico y una actualización de las competencias de los actores del proyecto para que todos compartan los mejores reflejos BIM.* □

BON DE COMMANDE

WWW.REVUE-TRAVAUX.FR

1917 | 2017
LA REVUE
TRAVAUX
A 100 ANS

OFFRE 100 ANS* :
PAR NUMÉRO
10€
AU LIEU DE 25€

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnement 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

OUI, je souhaite commander des numéros séparés de la Revue **TRAVAUX**

Numéro de la revue	Date de parution	Quantité
Nombre total d'exemplaires >		

Au tarif de :

- 10 € l'exemplaire (moins de 20 exemplaires), soit : _____ numéros x 10 € = _____ €
- 9 € l'exemplaire (du 21^e au 100^e exemplaire), soit : _____ numéros x 9 € = _____ €
- 8 € l'exemplaire (du 101^e au 500^e exemplaire), soit : _____ numéros x 8 € = _____ €

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

Je réglerai à réception de la facture

Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



BIM ET COBie SUR L'OUVRAGE PAYSAGER « GARDEN BRIDGE »

AUTEURS : THIBAUD GUERRERO, BIM MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - CHRISTOPHER FESQ, DESIGN MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LE GARDEN BRIDGE DE LONDRES EST UN PROJET DE PONT PAYSAGER AU-DESSUS DE LA TAMISE. LA DÉMARCHE BIM MISE EN ŒUVRE EST PARTICULIÈREMENT AMBITIEUSE, LIÉE À LA COMPLEXITÉ ARCHITECTURALE DE L'OUVRAGE, D'UNE PART ET, INDUITE PAR LES RÉCENTES CONTRAINTES COBie DU GOUVERNEMENT BRITANNIQUE, D'AUTRE PART. EN EFFET, LA STRUCTURATION NÉCESSAIRE DES DONNÉES POUR L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE DU PONT TERMINÉ N'EST PAS ENCORE MAÎTRISÉE, ET L'ÉQUIPE DE BIM MANAGEMENT A DÛ FAIRE PREUVE D'ÉNERGIE POUR PROPOSER DES SOLUTIONS D'ORDONNANCEMENT DES INFORMATIONS DANS UN FORMAT EXPLOITABLE ET PÉRENNE.

INTRODUCTION

PRÉSENTATION DU PROJET

Le Garden Bridge est un nouveau pont piéton paysager prévu en plein cœur de Londres. Il partira du toit de la station de métro Temple jusqu'à la rive Sud de la Tamise. D'une longueur de 366 m, il constituera un vaste jardin et créera un nouvel axe de transport nord-sud. Un bâtiment sera également érigé sur la rive Sud pour accueillir les locaux permettant la maintenance du pont ainsi qu'un espace commercial. Les travaux du Garden Bridge comprennent aussi

le déplacement du HQS Wellington, bateau actuellement amarré de façon permanente en face de la station Temple sur la rive Nord (figure 1).

Le Garden Bridge Trust, client du projet, a fait appel à Heatherwick Studio pour développer ce concept innovant et inédit. Arup a remporté le contrat de maîtrise d'œuvre du projet, soutenu par le studio paysagiste Dan Pearson Studio. Le contrat de conception-construction du projet a quant à lui été remporté par la joint-venture Byci, composée de Bouygues Travaux Publics et Cimolai.

Le bureau d'étude principal choisi par Byci pour mener à bien les études d'exécution est Flint&Neill (depuis peu, Cowi UK).

Le projet est malheureusement actuellement en stand-by depuis juillet 2016, par décision du Garden Bridge Trust.

CONTRAINTES SPÉCIFIQUES DU PROJET

La complexité du projet réside dans sa forte vision architecturale, son concept innovant, mais aussi dans de fortes contraintes logistiques liées au travail

sur la Tamise en plein cœur de Londres. La structure du pont est celle d'un pont métallique à tablier en dalle orthotrope. Néanmoins, la présence du jardin en fait un ouvrage unique et inédit.

La structure métallique du pont ainsi que le bardage en alliage de cupro-nickel seront fabriqués par Cimolai en Italie puis transportés par bateau jusqu'à l'embouchure de la Tamise.

La structure sera ensuite préassemblée et transportée par barges sur la Tamise avant l'assemblage final sur site. Au vu de la complexité géométrique du



1

© ARUP

projet, la modélisation 3D s'est naturellement révélée être la meilleure solution pour concevoir, fabriquer et optimiser l'assemblage des éléments de la structure du pont.

Des outils tels que Rhino combiné à Grasshopper ont ainsi été utilisés par les différents acteurs du projet dès les premières phases de conception.

EXIGENCES BIM DU CLIENT

L'utilisation du BIM était une obligation contractuelle sur le Garden Bridge, afin de prendre en compte, en particulier, des exigences du client orientées vers la maintenance et l'entretien du pont. En effet, la production d'un modèle *as-built* du projet faisait partie des demandes du Garden Bridge Trust. De plus, afin de centraliser et de mieux gérer les données associées à la maintenance, l'utilisation du format de données COBie était aussi contractuelle. Le format de données COBie a été développé aux Etats-Unis et adapté par la suite aux exigences spécifiques du Royaume-Uni. Il permet de regrouper au sein d'un format de données standardisé issu du modèle IFC, les informations nécessaires à la maintenance et à l'entretien d'un bâtiment ou d'une infrastructure.

Suite au mandat gouvernemental BIM Level 2, lancé en avril 2016, le format COBie est un livrable exigé sur tous les projets financés publiquement au Royaume-Uni. Le projet du Garden Bridge étant financé par des fonds pri-

1- Vue d'architecte du projet.

1- Architect's view of the project.

vés et lancé avant avril 2016, il ne rentrait pas dans le cadre des exigences BIM Level 2. Néanmoins les processus mis en place ainsi que les livrables attendus se rapprochaient fortement de ceux exigés maintenant sur tous les projets publics.

Ce fut donc l'occasion pour Byci d'aborder et de mettre en pratique ces exigences spécifiques au Royaume-Uni en amont du mandat BIM Level 2. De plus, la nature des travaux ne correspondant pas au scope classique du format COBie, l'adaptation à un projet d'ouvrage d'art a été l'un des défis du projet.

La joint-venture Byci a ainsi fait appel à Bouygues Energies et Services pour préciser le périmètre et le contenu de ce livrable et pour être force de proposition auprès du client. L'objectif était d'automatiser au maximum la production de ces données et de les récolter tout au long du cycle de la conception et de la construction du pont. De plus, cette aide a permis de mieux se focaliser sur les éléments clefs nécessitant d'être maintenus lorsque le pont sera en service. On peut citer, par exemple, les pompes de relevage permettant l'irrigation du jardin (figure 2).

RÉPONSE DE LA JOINT-VENTURE BYCI MOBILISATION ET ARCHITECTURE BIM MISE EN PLACE

Afin de répondre au mieux à ces attentes et voyant une réelle valeur ajoutée dans l'utilisation du BIM, la joint-venture Bouygues TP - Cimolai a mobilisé un BIM Manager dédié et intégré au sein de la direction technique du projet. L'implication forte de la direction de projet et notamment du Directeur Technique a aussi grandement facilité la mise en place d'une cellule de BIM management et la mise au point des processus BIM. Cette démarche a été traduite au sein d'un BIM Execution Plan, ou Convention BIM, permettant à Byci de structurer et d'organiser la production et l'échange des données produites. Requis par le client, ce document a aussi permis de mieux communiquer avec le client et les différents partenaires, et ainsi de mieux définir les objectifs BIM du projet. Malgré des niveaux de maturité hétérogènes lors du démarrage du projet, les sous-traitants principaux de Byci ont été fortement intégrés au sein de la démarche BIM. Les exigences BIM ont ainsi été intégrées dans les contrats de sous-traitance et les responsabilités clairement établies dès le démarrage des missions. Cela a permis de créer une réelle dynamique autour du BIM et de fédérer les différents acteurs (concepteur, constructeur et fabricant) autour d'une même volonté d'appréhender et d'évoluer ensemble.

Le BIM Execution Plan du projet a donc été le reflet d'une démarche commune et les différents workflows de transfert d'informations ont ainsi pu être mis en place de manière efficace.

Afin de gérer au mieux les informations produites en phase de conception et de construction du projet, Byci a choisi de mettre en place un *Common Data Environment* sur le projet. La mise en place d'une telle solution a permis un partage des informations du projet centralisé au sein d'un système unique. L'utilisation d'une plateforme d'échange collaborative sur un tel projet a pour avantages principaux de :

- Permettre un meilleur suivi des livrables de conception (soumission, validation, archivage, etc.) ;
- Centraliser les données produites sur le projet ;
- Faciliter la communication entre les différents intervenants.

La simplicité d'utilisation et l'investissement requis en amont pour mettre en place ce type de système restent tout de même des facteurs à améliorer de la part des éditeurs de logiciels.

PROCESSUS DE COORDINATION DES ÉTUDES, INTÉGRATION DU BIM

L'utilisation du BIM en phase de conception a été perçue comme un vecteur d'amélioration de la qualité des études, notamment grâce à une meilleure gestion des différentes interfaces, particulièrement nombreuses sur ce projet.



2 © BYCIVJ

L'intégration des différents modèles produits en phase de conception détaillée au sein d'une maquette de synthèse (figure 3) a permis de :

- Contrôler la cohérence des données d'entrée (bâti existant...);
- Contrôler la cohérence des données produites (géo-référencement, intégration avec l'existant, ...);
- Mieux aborder et gérer les interfaces clefs du projet (détection de conflits et analyse des incohérences de conception);
- Faciliter la communication au sein de l'équipe Design.

Des revues de coordination BIM ont été mises en place en phase de concep-

tion et ont facilité le partage des informations au sein de l'équipe Design. On peut aussi noter une plus grande réactivité et une capacité d'itérations plus importante, en comparaison avec les modes de conception traditionnels. Chaque problème/sujet détecté en revue de coordination BIM était revu par le BIM Manager et remonté si besoin en revue de conception. L'utilisation de la maquette lors des revues de conception faisait partie des objectifs internes de Byci et a grandement amélioré la compréhension des interfaces clefs dès le début des études détaillées de la phase d'exécution (figure 4).

2- Données COBie associées au modèle architectural du bâtiment sur la rive Sud.

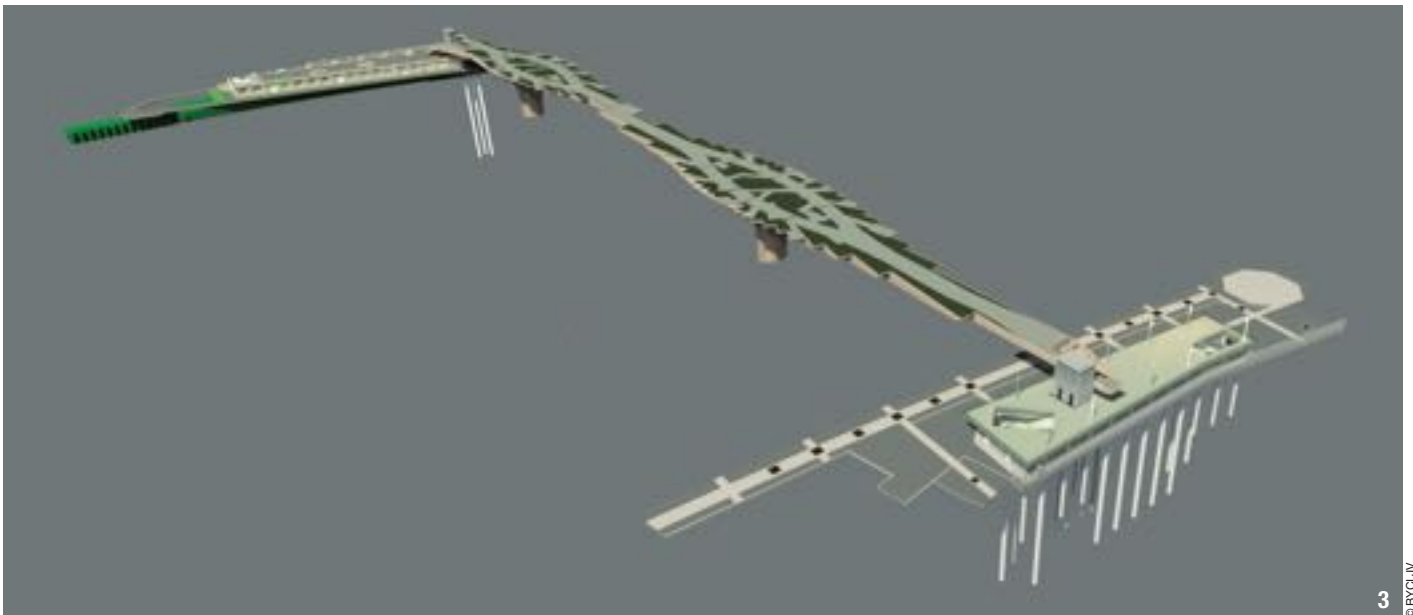
3- Maquette de coordination globale du Garden Bridge.

2- COBie data related to the architectural model of the building on the South Bank.

3- Overall coordination model of the Garden Bridge.

La présence du jardin sur le tablier du pont augmentait la quantité d'interfaces à gérer vis-à-vis d'un pont plus classique. On peut ainsi citer comme points clefs facilités par l'utilisation des modèles les points suivants :

- Coordination des différents réseaux au sein du jardin et liens avec les réseaux existants de part et d'autre du pont;
- Optimisation du drainage et de l'irrigation des plantes pour assurer la pérennité du jardin;
- Interfaces entre le drainage et la structure du pont;
- Interfaces entre les deux rives et le pont via les ascenseurs.



3 © BYCIVJ

L'échange régulier des modèles a renforcé les liens entre le concepteur, le fabricant et l'architecte. Le calepinage du parement du pont a ainsi été optimisé par Byci et validé par le client en prenant en compte à la fois les contraintes architecturales mais aussi celles liées à la fabrication des différentes pièces (figure 5).

Navisworks d'Autodesk est l'outil de coordination BIM principalement utilisé par Byci sur ce projet, adossé à une plateforme d'échange commune, permettant une mise à jour régulière des différents modèles produits. Afin de pousser plus loin le processus de coordination et de mieux gérer les incohérences détectées dans les modèles, l'utilisation du format BCF (BIM Collaboration Format) a aussi été promue, au travers de la plateforme BIM Collab (développée par la société Kubus). La multiplicité des outils de modélisation et de coordination utilisés, ainsi que les problèmes d'interopérabilité rencontrés ont été l'une des raisons clefs pour la promotion de l'utilisation du BCF sur le projet.

ADAPTATION DES OUTILS ORIENTÉS « BÂTIMENT » À UN PROJET D'OUVRAGE D'ART

Les outils de modélisation BIM orientés « infrastructure » sont encore peu nombreux et moins matures que dans le secteur du bâtiment.

Aussi, le projet du Garden Bridge a été l'opportunité pour Byci d'essayer de pousser les limites des logiciels existants afin de les adapter au mieux aux exigences du projet. Les logiciels de modélisation principalement utilisés sur le Garden Bridge sont Autodesk Revit, Tekla Structure et Rhino 3D.

4- Coordination entre la structure métallique et le système de drainage du pont.

4- Coordination between the steel structure and the bridge's drainage system.

La coordination des différents modèles et leur géo-référencement dans le système géodésique local du métro londonien (London Survey Grid) a été une source de nombreuses erreurs et incohérences au démarrage du projet. Néanmoins une solution a pu être trouvée en collaboration avec les différents coordinateurs BIM mobilisés sur le projet.

De plus, des workflows spécifiques ont été mis en place par Byci afin d'assurer l'intégrité et l'intégration complète des modèles Rhino développés pour la charpente métallique du pont dans la maquette globale.

Les complexités architecturale et structurelle de l'ouvrage ont nécessité la production de différents modèles au cours du cycle de conception et construction du projet. Pour s'accorder, un premier modèle de conception structurelle comportant un *breakdown structure* commun a été élaboré par le bureau d'étude structure du projet. Ce modèle a ensuite servi de référence aux modèles de coordination et de fabrication/assemblage développés par Byci.

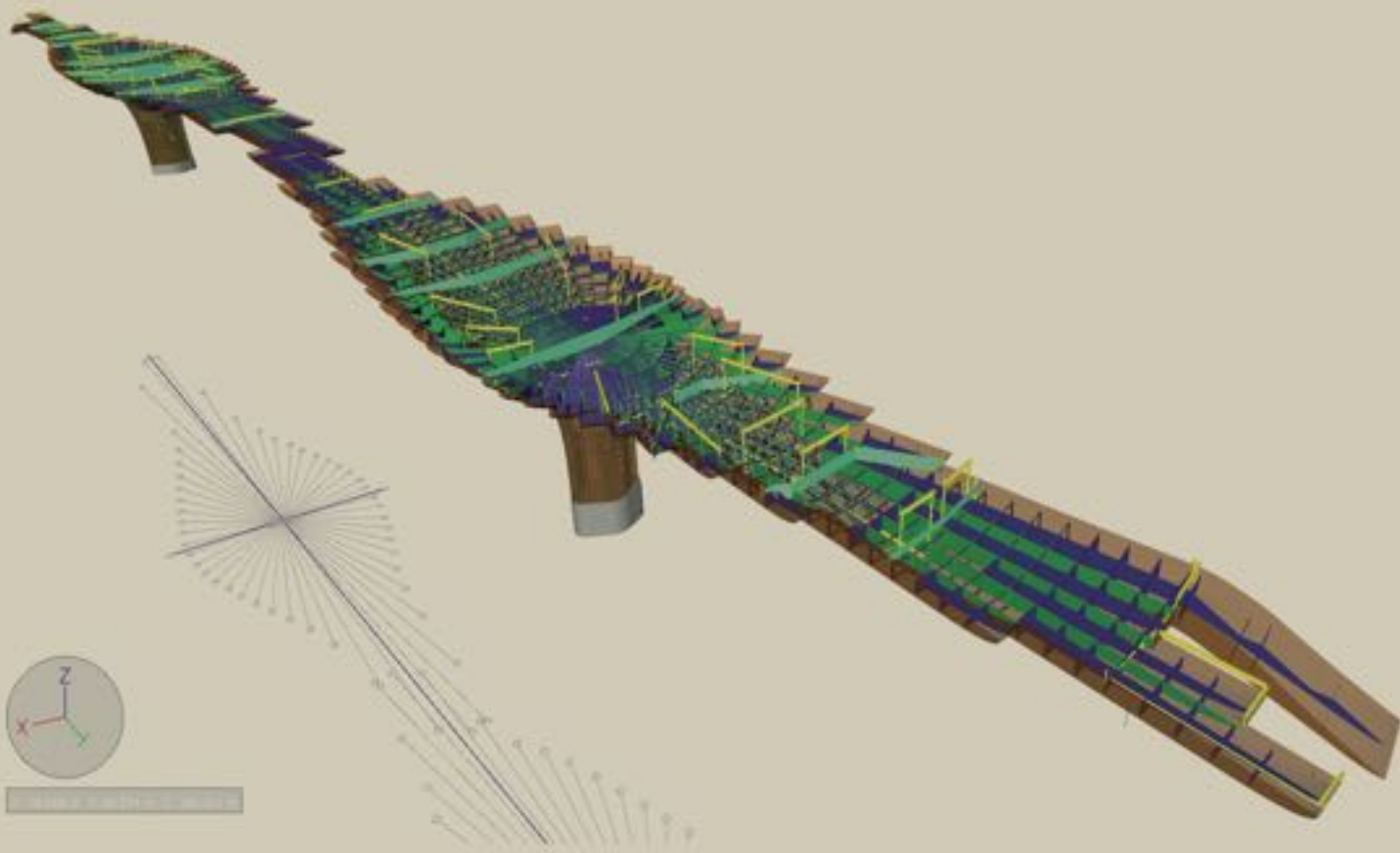
L'utilisation d'outils de programmation visuelle tels que Grasshopper pour la modélisation de la structure du pont et Dynamo pour la partie paysagère ont aussi permis de repousser les limites actuelles des outils de modélisation et de mieux gérer le transfert des données entre logiciels.

LE BIM ET LA CONCEPTION PAYSAGÈRE

La modélisation et l'intégration de l'aménagement paysager au sein de la maquette globale du projet a été l'un des principaux challenges BIM du projet.

Les outils de conception utilisés actuellement dans cette discipline manquent de maturité par rapport aux modèles utilisés dans le bâtiment ou même les travaux publics. Il a donc fallu trouver des alternatives avec les outils existants. L'objectif était d'aller au-delà de la simple représentation graphique 3D de la végétation et de pouvoir se servir du modèle comme support de coordination avec les éléments structurels et les réseaux présents dans le jardin. ▷

COORDINATION ENTRE LA STRUCTURE MÉTALLIQUE ET LE SYSTÈME DE DRAINAGE DU PONT



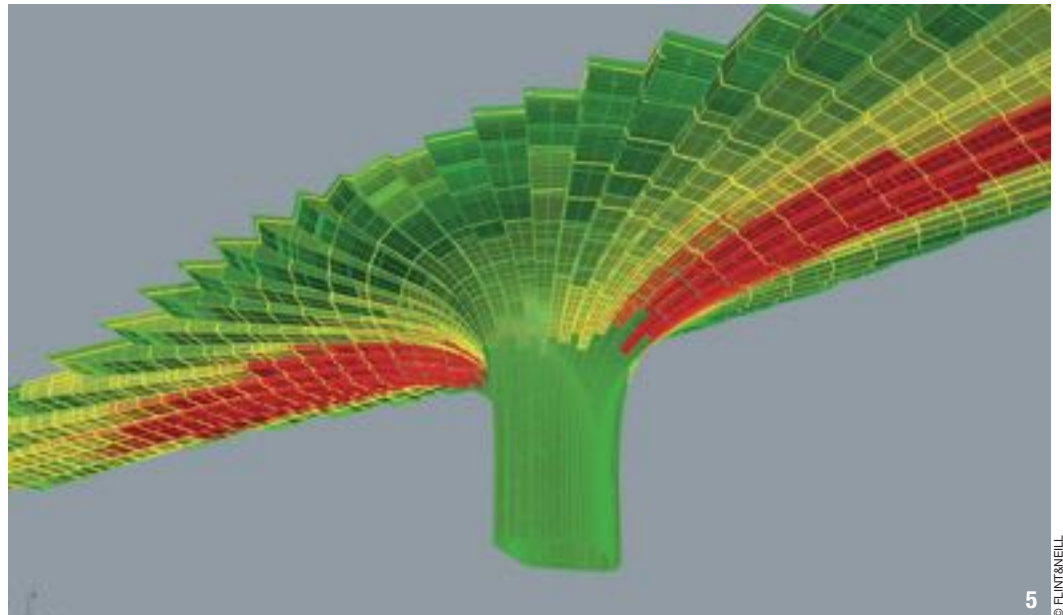
Le jardin étant l'élément architectural prépondérant du pont, l'ajout d'informations utilisables pour gérer l'entretien du jardin était aussi l'un des objectifs BIM du projet.

L'un des points notables a été l'optimisation de la géométrie du tablier en tenant en compte de la localisation et des dimensions des mottes racinaires. En effet, la modélisation des mottes, même de manière simplifiée, a permis de vérifier que la profondeur de sol était suffisante pour permettre aux plantes de pousser correctement une fois disposées sur le tablier.

Cette optimisation, réalisée de concert avec la maîtrise d'œuvre du projet, a été basée et validée via l'utilisation des modèles produits par Byci.

Afin de mieux modéliser la végétation en phase de conception détaillée, la solution LandSim 3D de Bionatics a aussi été envisagée. Notamment pour ses capacités de simulation de la pousse de la végétation mais aussi pour sa meilleure gestion du niveau de détail de la modélisation.

Un autre aspect clef de la modélisation de l'aménagement paysager était la gestion du drainage lié à l'agencement spécifique des pavés au sein du jardin. En effet, la situation particulière du projet entraîne des contraintes fortes en termes de drainage et d'irrigation. La modélisation 3D des différents types de sol du jardin a ainsi autorisé une meilleure définition des pentes adéquates et d'optimiser la capacité de drainage du pont. Ces contraintes ont



5 © FLINT&NEILL

amené Byci à utiliser des outils permettant d'aller plus loin que les possibilités de modélisation offerte par Revit. Ainsi l'utilisation de Dynamo a joué un rôle important dans la modélisation et l'optimisation des pentes liées au drainage (figure 6).

CHALLENGES À VENIR

L'utilisation du BIM en phase de conception détaillée n'était que la première étape permettant d'atteindre les objectifs ambitieux fixés par le Garden Bridge Trust. Ainsi Byci a pour objectif de poursuivre dans cette dynamique en phase de construction.

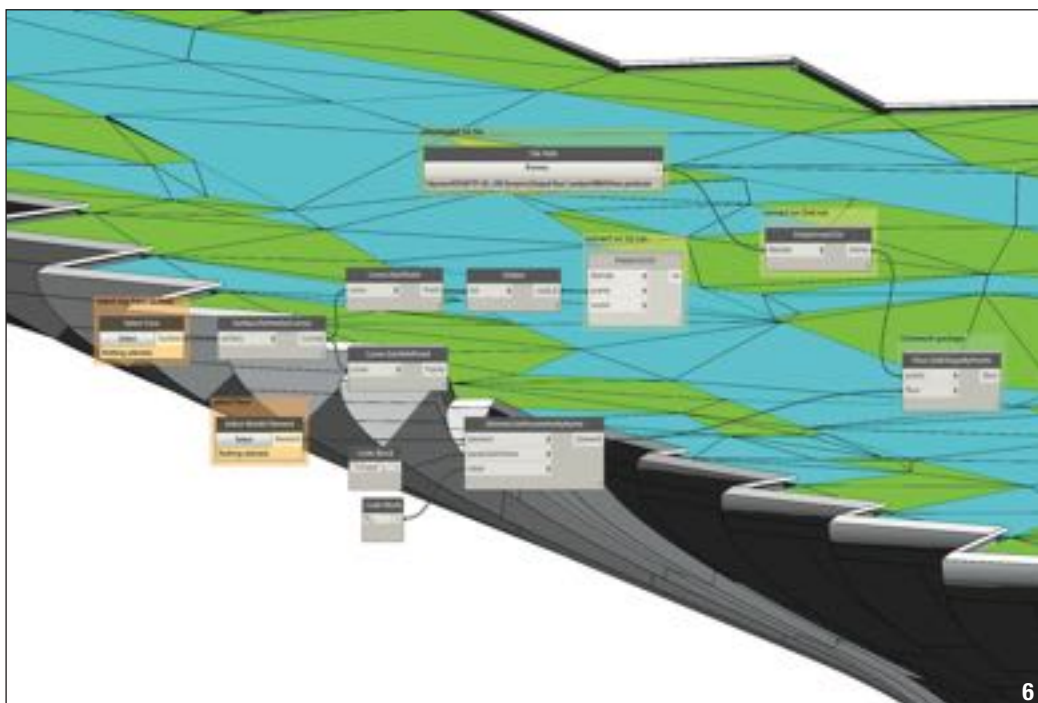
De nombreux processus restent encore à être fiabilisés et la démarche initiée en phase de conception devra être maintenue au sein de l'équipe projet. Les premiers résultats, signes de l'implication des différents intervenants et de la volonté commune d'avancer sont formateurs et encourageants.

Parmi ces challenges à venir, on pourra noter les sujets suivants :

- L'intégration des modifications de conception pouvant intervenir sur site en phase travaux, afin de livrer un dossier *Tel-Que-Construit* ;
- L'intégration des modèles produits par les différents sous-trai-

tants et fabricants au sein de la maquette globale du projet, dans un format autorisant leur mise à jour aisée ;

- Une meilleure connaissance du contexte des travaux, via la réalisation et l'exploitation de relevés numériques 3D, intégrés au sein des modèles BIM développés (travaux en cours lors de la mise en veille du projet) (figure 7) ;
- La modélisation détaillée de la végétation du pont afin de concevoir et de mieux coordonner les différents réseaux et équipements présents dans le pont ;



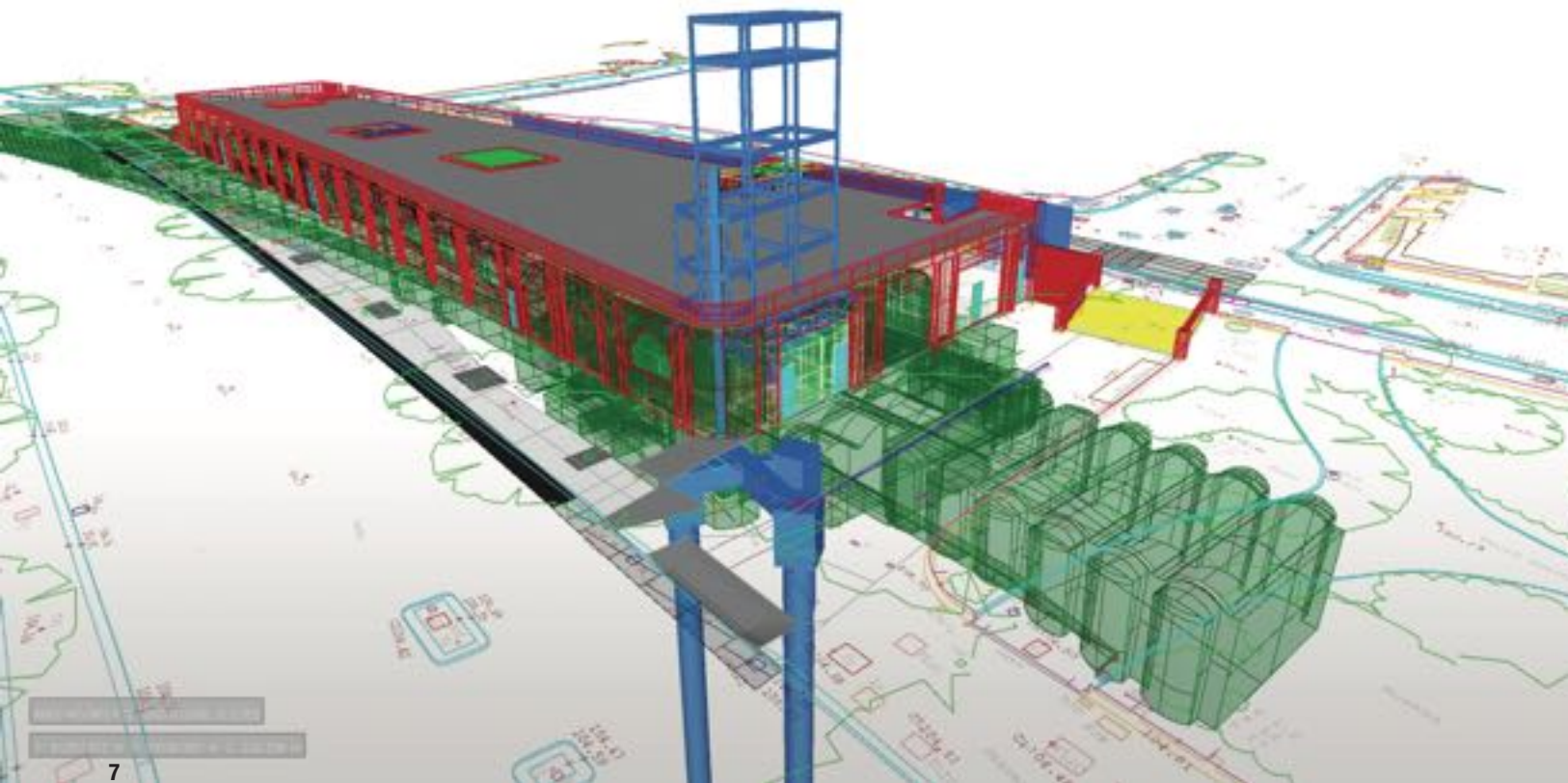
6 © BYCI JV

5- Modèle Rhino du bardage du pont, avec un code couleur pour l'épaisseur des plaques.

6- Routine Dynamo utilisée pour optimiser la modélisation des dalles en fonction des pentes de drainage.

5- Rhino model of bridge cladding, with a colour code for the thickness of the plates.

6- Dynamo routine used to optimise slab modelling according to drainage slopes.



7

© BYCI JV

→ La gestion de l'ajout des informations nécessaires à la maintenance, dès la phase de construction : *on-site BIM*.

CONCLUSION

Malgré la mise en veille de ce projet prestigieux et hautement architectural, la démarche BIM initiée est une des plus ambitieuses jamais entreprises par Bouygues Travaux Publics. Car, au-delà des problématiques de modélisation d'un ouvrage d'art paysager, des processus d'échange et d'agrégation de données générées par de nombreux contributeurs, elle traite une des préoccupations majeures des ambitions du BIM : livrer les données nécessaires

7- Coordination entre l'existant (modèle as-built de la station Temple) et les modèles de conception projet.

7- Coordination between the existing situation (as-built model of Temple Station) and the project design models.

à la maintenance et à l'exploitation de l'ouvrage construit.

La couverture complète du cycle de vie d'un ouvrage est un des enjeux de COBie, démarche obligatoire depuis avril 2016 au Royaume-Uni.

La volonté affichée de l'ensemble des partenaires du Garden Bridge de concevoir un pont majestueux au-dessus de la Tamise, lieu emblématique s'il en est, en utilisant une approche BIM ambitieuse, alignée avec les nouvelles exigences britanniques, est particulièrement enthousiasmante.

Cela a permis de démontrer la détermination actuelle de progresser et de faire monter en compétence l'ensemble de l'écosystème nécessaire

à la réalisation d'un ouvrage d'art. BIM est synonyme de travail collaboratif. Mais l'enjeu ultime reste bien la donnée, dont la pérennité repose sur sa bonne structuration.

En l'absence provisoire de normes dédiées aux infrastructures, ce genre d'expérimentation grandeur réelle deviendra un cas d'usage significatif qui permettra de confronter la réalité avec la théorie de la normalisation. En effet, ce sont les utilisateurs finaux qui doivent conduire et concevoir la normalisation, afin qu'elle réponde exactement aux besoins attendus. Et c'est en pratiquant et en expérimentant, qu'on est capable d'être force de proposition. □

ABSTRACT

BIM AND COBie ON THE GARDEN BRIDGE LANDSCAPING PROJECT

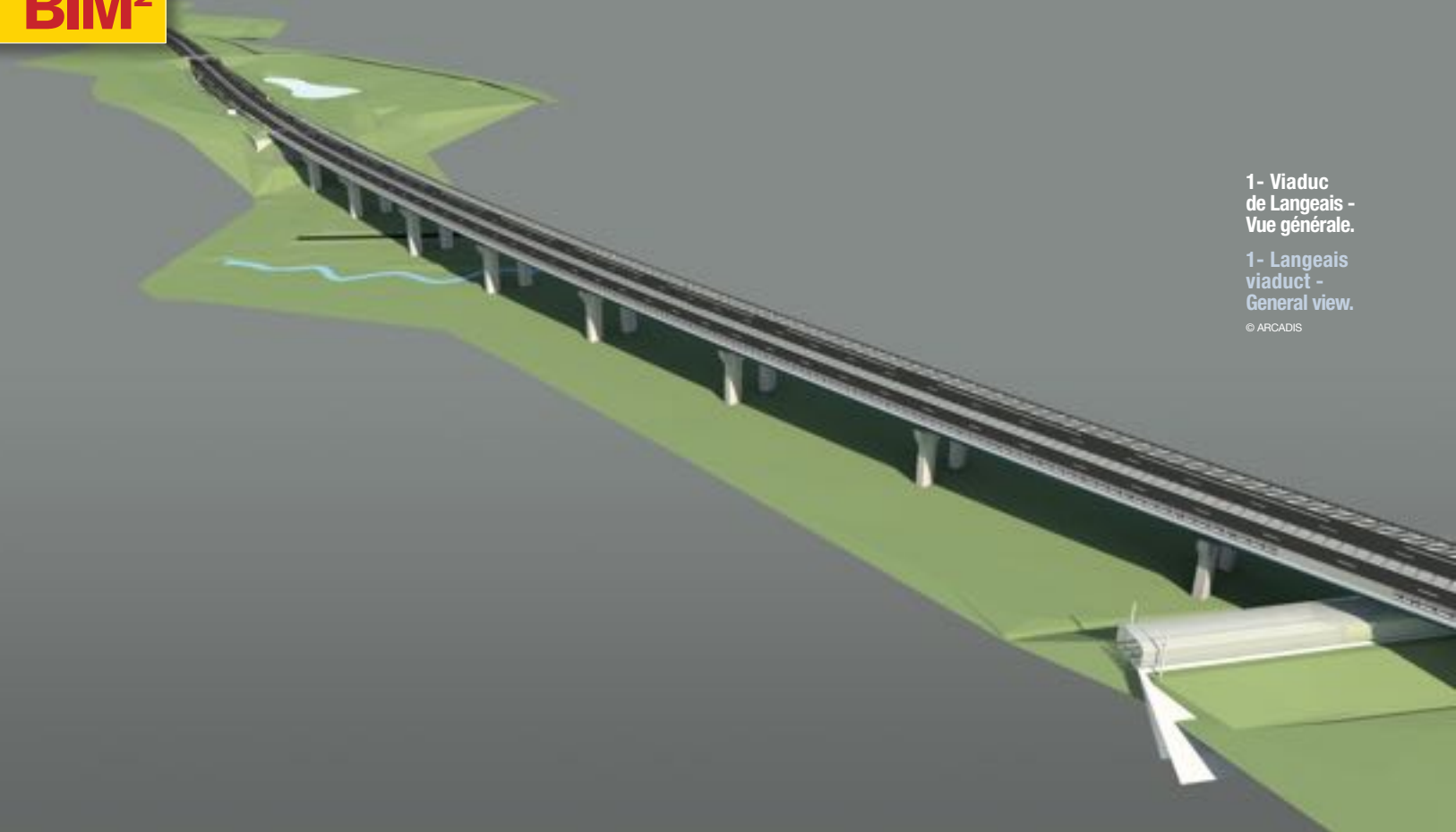
THIBAUD GUERRERO, BOUYGUES TP - CHRISTOPHER FESQ, BOUYGUES TP

The Garden Bridge is a landscaped bridge project located in the very heart of London, between Waterloo Bridge and Blackfriars Bridge. This steel pedestrian bridge with an orthotropic slab deck features an original architectural design, with a garden set up on the deck. The motivation and commitment of the project team established by the Bouygues Travaux Publics/Cimolai joint venture enabled it to meet a number of challenges regarding the establishment and management of a BIM approach. Despite some initial problems due to the type of project and its location, the detailed design was able to be better coordinated and certain limitations of existing software programs were able to be overcome or improved. Lastly, the bridge maintenance requirements and necessary data were able to be considered as of the design phases ahead of construction. This was notably due to use of the COBie data format, which is now mandatory for all British public projects. □

BIM Y COBie EN LA OBRA PAISAJISTA GARDEN BRIDGE

THIBAUD GUERRERO, BOUYGUES TP - CHRISTOPHER FESQ, BOUYGUES TP

El Garden Bridge es un proyecto de puente paisajista situado en pleno centro de Londres, entre el Waterloo Bridge y el Blackfriar Bridge. La particularidad de este proyecto de pasarela peatonal de tipo puente metálico con tablero de losa ortotrópica reside en su original diseño arquitectónico y en la presencia de un jardín sobre el tablero. La movilización y la implicación del equipo de proyecto, creado por la joint-venture Bouygues Travaux Publics - Cimolai, ha permitido superar varios desafíos relacionados con la aplicación y la gestión de un procedimiento BIM. Pese a algunas dificultades iniciales debidas a la tipología del proyecto y a su ubicación, este procedimiento ha permitido optimizar la coordinación de los estudios de ejecución y evitar o mejorar algunas limitaciones del software existente, así como tener en cuenta las exigencias y los datos necesarios para el mantenimiento del puente desde las fases de estudio y de obras preliminares. Ello ha sido posible sobre todo gracias al uso del formato de datos COBie, actualmente obligatorio en todos los proyectos públicos británicos. □



1 - Viaduc de Langeais - Vue générale.

1 - Langeais viaduct - General view.

© ARCADIS

L'UTILISATION DU BIM SUR LE CONTOURNEMENT DE LANGEAIS

AUTEUR : RÉGIS BOUTES, CHEF DE PROJET, ARCADIS

LE BIM DEVIENT UN OUTIL INCONTOURNABLE DANS LA CONCEPTION D'OUVRAGES DE TOUS TYPES. SON UTILISATION DANS LE DOMAINE DES INFRASTRUCTURES EST CEPENDANT ENCORE EN CONSTANTE ÉVOLUTION. EN METTANT LE PROCESSUS BIM AU CŒUR DE LA CONCEPTION DE TROIS VIADUCS SUR LE CONTOURNEMENT DE LANGEAIS, ARCADIS MONTRE SA VOLONTÉ D'ÊTRE MOTEUR DANS CE CHANGEMENT.

LE CONTEXTE

Dans le cadre de la mise à deux fois deux voies de l'autoroute A85 au niveau de Langeais, Arcadis est en charge de la maîtrise d'œuvre du doublement de trois viaducs pour le compte du réseau Cofiroute.

Les ouvrages concernés sont les viaducs de Langeais (figure 1), d'une longueur de 650 m, de La Perrée (figure 2), d'une longueur de 540 m et de La Roumer (figure 3) d'une longueur de 250 m.

S'agissant de doublement d'ouvrages existants, les futurs viaducs reprennent les caractéristiques principales de ces derniers. Il s'agit de bipoutres mixtes acier-béton à entretoises, avec des hauteurs de poutres de l'ordre de 3 m.

Les piles sont de forme ovoïde et élargies en tête par un chevêtre (figure 4). Le dossier d'appel d'offre de la mission de maîtrise d'œuvre comportait une mission complémentaire « Maquette numérique BIM ».

La politique de la société est de commencer tout nouveau projet à l'aide de maquettes numériques comme outils de conception. Le BIM constitue donc pour Arcadis le processus central de conception et fait partie de la mission de base.

L'objectif retenu était de reprendre les méthodes de travail utilisées précédemment pour Cofiroute sur l'échangeur de la porte de Gesvres (figure 5), lauréat au BIM d'Or 2016 dans la catégorie Infrastructures.

L'ÉQUIPE BIM

L'ensemble des rôles liés au processus BIM n'étant pas forcément connu de tous, il est intéressant de rappeler l'organisation BIM mise en place sur l'affaire et les prérogatives des acteurs.

LE BIM MANAGER

Le BIM Manager du projet définit le processus BIM. Il vérifie ensuite son application afin de garantir la qualité des informations incluses dans les maquettes et de permettre l'exploitation de celles-ci. Il contrôle le respect du processus de mise à disposition et d'échange d'informations entre les différents acteurs sur la base des serveurs BIM. Il configure et assure le bon fonctionnement des différents serveurs BIM.

LE COORDINATEUR BIM

Le BIM Manager est assisté par un coordinateur BIM, chef d'orchestre de l'équipe de production, chargé du suivi du bon déroulement du processus BIM au quotidien. Il est chargé de faire appliquer les règles et directives décrites dans le plan qualité BIM aux modélisateurs.

Le coordinateur BIM est l'interlocuteur unique du BIM Manager et partage en conséquence la même vision organisationnelle et technique.

Le coordinateur BIM est en charge de la synthèse des différentes maquettes métiers, ainsi que de l'analyse de celles-ci.

Il est aussi l'interlocuteur principal du Chef de projet pour tous les sujets liés



© ARCADIS
2

au BIM, par exemple pour la fourniture de la maquette de synthèse tout au long du processus de conception.

LES MODÉLISATEURS

Les modélisateurs sont les projeteurs qui produisent les diverses maquettes qui composent la maquette de synthèse compilée par le coordinateur. Sur le projet des ouvrages de l'A85, des outils différents sont utilisés pour répondre aux contraintes métiers. Les viaducs sont modélisés à l'aide du logiciel Revit d'Autodesk, les raccorde-

2- Viaduc de La Perrée - Vue générale.

3- Viaduc de La Roumer - Vue générale.

2- La Perrée viaduct - General view.

3- La Roumer viaduct - General view.

ments incluant les terrassements, les chaussées et l'assainissement à l'aide du logiciel Civil3D d'Autodesk. Des éléments complémentaires tels que les Postes d'Appel d'Urgence et la signalisation verticale sont modélisés directement à partir de blocs 3D AutoCad, et la signalisation horizontale par Covadis.

LA MODÉLISATION LE PLAN QUALITÉ BIM

Dès le démarrage du projet, le BIM manager établit le plan qualité BIM, un

des éléments essentiels pour la réussite d'un projet BIM. Ce document regroupe l'ensemble des éléments nécessaires pour cadrer l'utilisation du BIM.

Il traite notamment des différents membres de l'équipe BIM et leur rôle, mais surtout il définit les standards utilisés pour le travail en interne et les échanges avec l'extérieur, les procédures de travail et de coordination entre les différents formats de maquettes et le processus de contrôle.

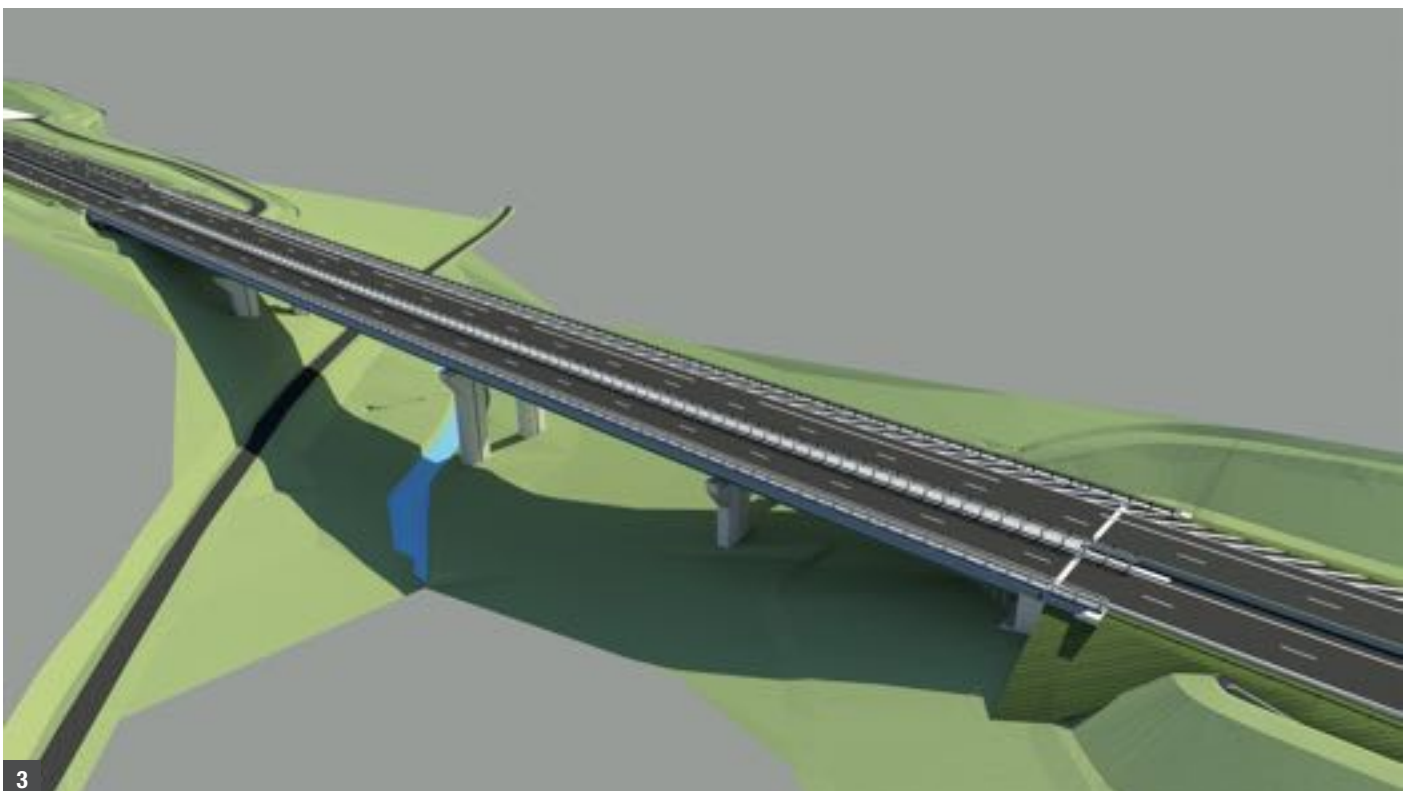
En particulier, il définit la structure des maquettes, la classification des objets et leur nommage.

LA MODÉLISATION DE L'EXISTANT

La première maquette à réaliser correspond à la topographie du site. Elle est établie sur la base de plans AutoCad 2D ou 3D selon la zone qu'il faut considérer puis compilée afin d'avoir une définition de surface utilisable dans Civil3D. Dans le cas du viaduc de Langeais, un projet de déviation d'un ruisseau (figure 6) et les contraintes SNCF (figure 7) sont aussi intégrés.

En parallèle débute la modélisation des ouvrages existants (viaducs, passages supérieurs, ...) en partant des plans de récolement.

Pour s'assurer de la justesse de la maquette finale, il convient de garantir pour ces ouvrages un niveau de détail et de précision semblable à celui des ouvrages projetés. ▷



© ARCADIS
3

Il s'agit d'un travail relativement long puisque les plans sont des documents scannés, de qualité variable. La modification d'un système de coordonnées de Lambert II à Lambert 93 vient par ailleurs compliquer la tâche.

LA MODÉLISATION DES OUVRAGES PROJETÉS

La procédure de modélisation est la même pour l'ouvrage existant et l'ouvrage futur. Par conséquent, le viaduc neuf est modélisé en réutilisant une partie des éléments déjà modélisés de l'ouvrage existant, par exemple la forme des fûts de pile ou les détails de modélisation des entretoises.

La plupart des plans en 2D de l'ouvrage constituant les livrables classiques sont issus de ces maquettes, comme les plans d'implantation et de coffrage. La création des plans est faite directement dans Revit à partir de certaines vues habillées par des cotations, du texte et des détails complémentaires. En cas de modification de la maquette, les plans sont automatiquement mis à jour. L'utilisation de Civil3D pour la modélisation des raccordements routiers est antérieure au développement du BIM et reste donc par conséquent plus classique. Il est cependant nécessaire de respecter la structure des maquettes définies dans le plan qualité BIM.

LA MODÉLISATION DES ÉLÉMENTS PARTICULIERS

Certains éléments particuliers nécessitent une modélisation différente car les outils existants ne permettent pas



4

© ARCADIS

encore de les générer facilement. Ils sont pour l'instant modélisés sur Civil3D en tant qu'objets 3D AutoCad. On peut en particulier évoquer la modélisation des éléments linéaires tels que les dispositifs de retenue (figure 8) ou les clôtures, la signalisation horizontale. Dans le cas présent, les portiques de signalisation (figure 9) et les postes d'appel d'urgence (figure 10) ont été modélisés de la même façon, mais avec du recul, il aurait été plus pertinent de les modéliser comme des objets BIM dans Revit, ce qui aurait permis d'avoir au-delà de la géométrie, des informations plus détaillées.

4- Viaduc de Langeais - Vue des piles et du tablier.

5- Porte de Gesvres - Extrait de la maquette habillée.

4- Langeais viaduct - View of the piers and deck.

5- Porte de Gesvres - Excerpt from the realistic model.

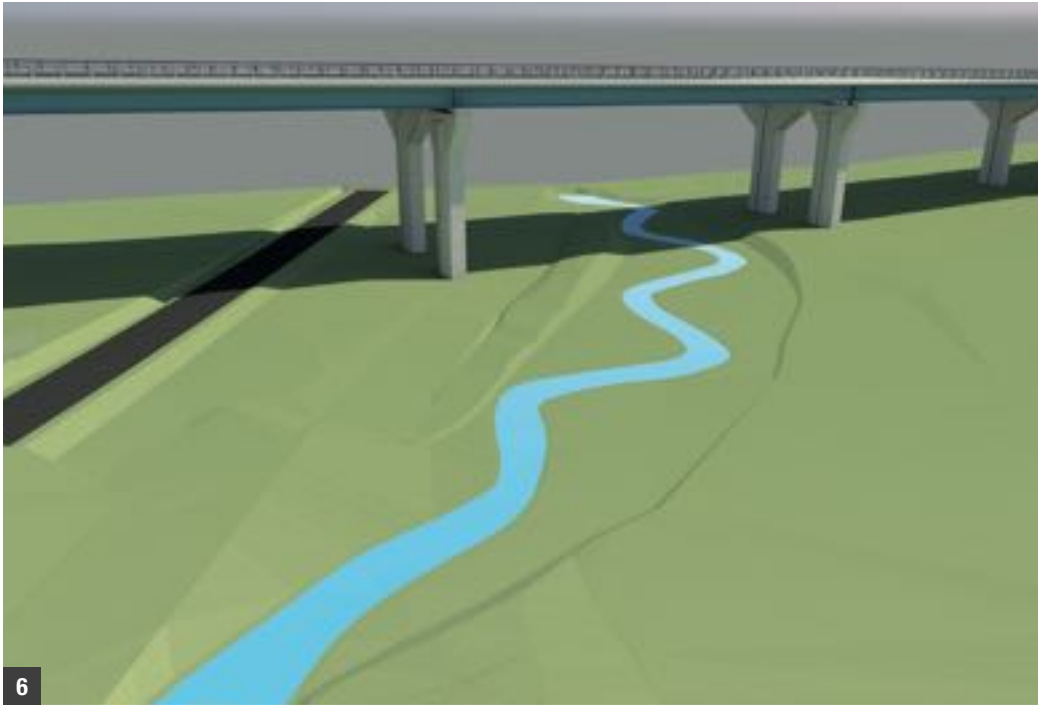
LA MAQUETTE DE SYNTHÈSE

Une fois toutes les maquettes précédentes réalisées, elles sont intégrées dans la maquette de synthèse par le coordinateur BIM (figure 11). Le logiciel utilisé ici est NavisWorks qui permet d'importer les maquettes issues des différents logiciels. Lors de la construction de la maquette de synthèse, le coordinateur BIM vérifie la cohérence des différents objets entre eux. Une fois validée, elle est transmise au chef de projet pour être utilisée comme outil de présentation et de communication auprès du maître d'ouvrage et des autres intervenants du projet.



5

© ARCADIS



6



7

© ARCADIS

© ARCADIS

LES AVANTAGES

UNE VISION CLAIRE DU PROJET

L'avantage le plus évident du BIM est de permettre de visualiser de façon simple le projet, son intégration dans le site et les différents points de conflits éventuels, même si assimiler le BIM uniquement à la maquette visible est très réducteur.

La modélisation des éléments singuliers, comme les accès d'exploitation, les postes d'appels d'urgence, les dispositifs de retenue, la signalisation verticale et horizontale, en phase provisoire ou définitive est un véritable point fort

6- Viaduc de Langeais - Ruisseau des Agneaux.

7- Viaduc de Langeais - Contraintes SNCF.

6- Langeais viaduct - Ruisseau des Agneaux (stream).

7- Langeais viaduct - Railway constraints.

lors des discussions avec l'exploitant de l'autoroute.

La maquette a d'ailleurs été complétée à la demande de Cofiroute par la modélisation de la principale phase de chantier afin de bien appréhender les conditions d'exploitation sous chantier.

UNE COHÉRENCE ASSURÉE

Pour la modélisation du viaduc, utiliser le BIM comme outil de conception permet d'avoir des plans toujours cohérents entre eux.

En effet, une modification du cofrage d'une culée par exemple va

être répercutée sur toutes les vues de la culée mais aussi sur le plan d'ensemble, évitant les erreurs ou oublis de reprises conduisant à des incohérences.

C'est aussi le cas pour les raccordements, mais comme indiqué précédemment, l'utilisation de Civil3D ou d'autres logiciels similaires était déjà répandue donc le gain est moins important.

La maquette de synthèse permet quant à elle de vérifier la cohérence entre les différents métiers.

Des imports locaux de Revit vers Civil3D peuvent encore être faits lors de la mise au point des raccordements, avec des risques de modifications non gérés.

Mais la maquette finale qui contient les dernières versions met en évidence les écarts lors de l'examen par le coordinateur BIM.

UNE AIDE À LA DÉCISION

Sur le viaduc de Langeais, deux options ont dû être envisagées pour une des culées à cause de la présence d'un mur en sol renforcé existant dans l'emprise de la culée projetée.

Même si ce n'était pas prévu au départ, des maquettes simplifiées de la zone avec les deux solutions ont été créées. En effet, les premières esquisses 2D n'étaient pas suffisamment explicites notamment du fait de la géométrie des talus.

La vision 3D de la maquette permettait de bien saisir les différentes contraintes géométriques.

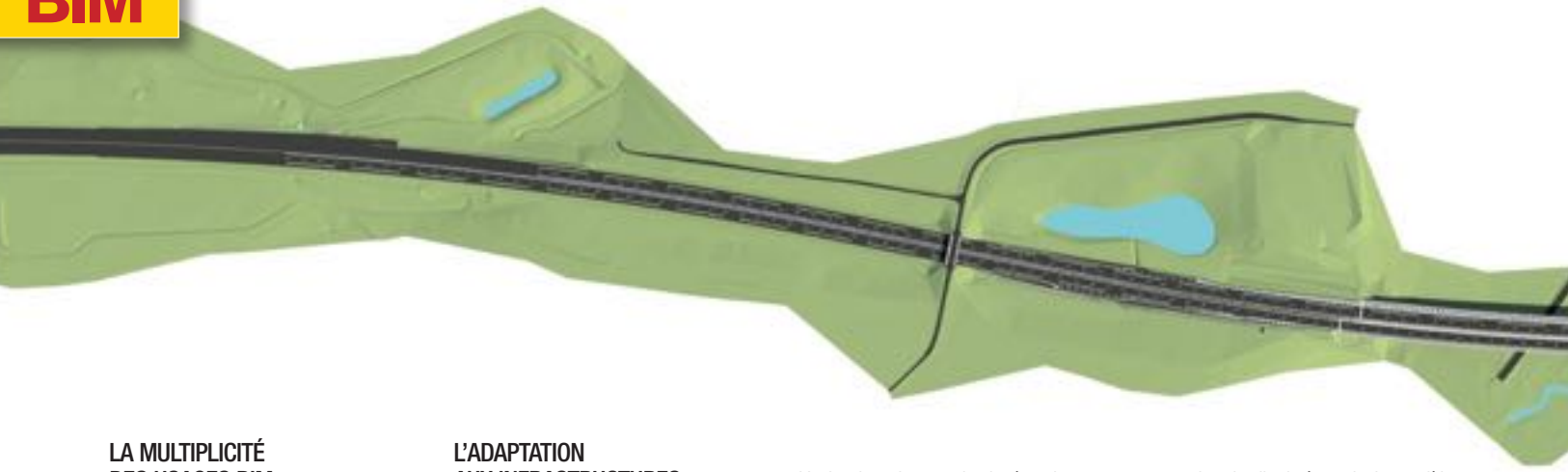
Les phasages simplifiés pour les deux solutions ont pu être aussi présentés. Le choix de la solution finale (figure 12) a grandement été simplifié par ces modélisations.

Dans la même optique, des vues 3D issues directement de la maquette aident à présenter la solution aux architectes sans avoir à réaliser des documents complémentaires.

UN OUTIL POUR LA MAINTENANCE

Cofiroute est très sensible à la maintenance de ses ouvrages et en particulier de tous les éléments liés à la sécurité. Le but pour Cofiroute et Arcadis est d'associer des informations pertinentes aux différents objets afin de permettre leur exploitation au cours de la vie des ouvrages.

En complément, une réflexion est menée sur l'intégration des maquettes BIM, et donc des informations associées à chaque objet, dans la base de données patrimoniale de Cofiroute. ▷



LA MULTIPLICITÉ DES USAGES BIM

Nous avons profité de ce projet pour explorer de nouvelles façons d'exploiter les bases de données numériques créées, de l'impression 3D à la réalité virtuelle. Le retour d'expérience est très prometteur, à la fois du côté de la satisfaction client que de l'implication et de l'intérêt de tous les membres de l'équipe pour le projet.

LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉS

Bien entendu, le BIM est encore en cours de développement et Arcadis a rencontré un certain nombre de problèmes au cours du projet.

L'ADAPTATION AUX INFRASTRUCTURES

À l'origine, le BIM a été pensé dans le cadre de l'utilisation en bâtiment. À ce titre, on trouve beaucoup d'objets ou de références à des éléments tels que poutres, poteaux, voiles, ... Lorsqu'on traite un objet d'infrastructure tel qu'un pont, il est parfois difficile de rentrer dans ces cases prédéfinies, ce qui conduit parfois à devoir prendre des chemins détournés.

L'exemple le plus concret correspond à la modélisation des dispositifs de retenue et clôtures qui sont en pratique des blocs Autocad 3D, répartis le long d'une courbe définie dans Civil3D. À ce titre, ce ne sont pas de vrais objets BIM.

L'adoption de standards étendus aux infrastructures (IFC Infrastructure décliné pour chaque métier, IFC Bridge, IFC Rail par exemple) permettra d'ici quelques années de rationaliser la structure des maquettes.

L'UTILISATION DES OUTILS

Arcadis a fait le choix d'utiliser les outils Autodesk pour les modélisations BIM, ce qui permet d'optimiser la compatibilité entre les logiciels de modélisation et de synthèse. Cependant, comme tout logiciel, ces outils ont leurs propres limites. Par exemple, Revit ne permet de faire des coupes que selon un plan, ce qui empêche de faire directement la

coupe longitudinale à partir du modèle, le tracé en plan de l'ouvrage s'inscrivant dans un cercle, obligeant à définir une méthodologie plus consommatrice en temps que si la fonction était directement intégrée au logiciel. Un autre souci rencontré concerne la modélisation des poutres métalliques principales. Avec un tracé défini selon un arc de cercle en plan et une pente en profil en long, l'utilisation directe des outils Revit conduit à des poutres inclinées au lieu de verticales. L'utilisation de l'outil de développement Dynamo intégré à Revit a permis de résoudre cette limitation mais a cependant demandé un investissement en temps substantiel.



8

8- Viaduc de Langeais - Dispositifs de retenue.

9- Viaduc de Langeais - Signalisation.

10- Viaduc de Langeais - Détail sur PAU.

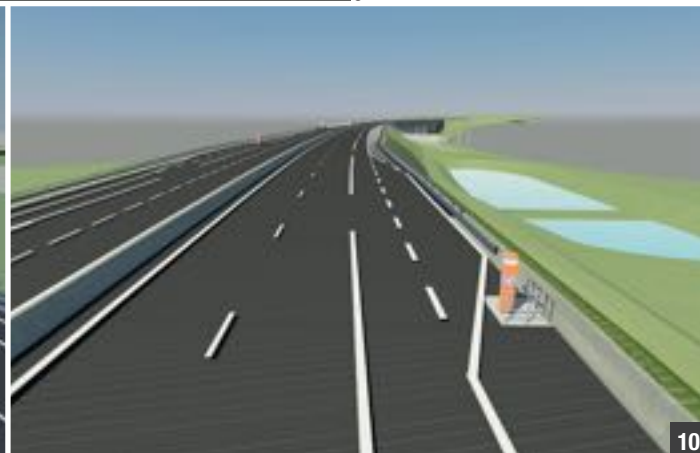
8- Langeais viaduct - Retention systems.

9- Langeais viaduct - Signing.

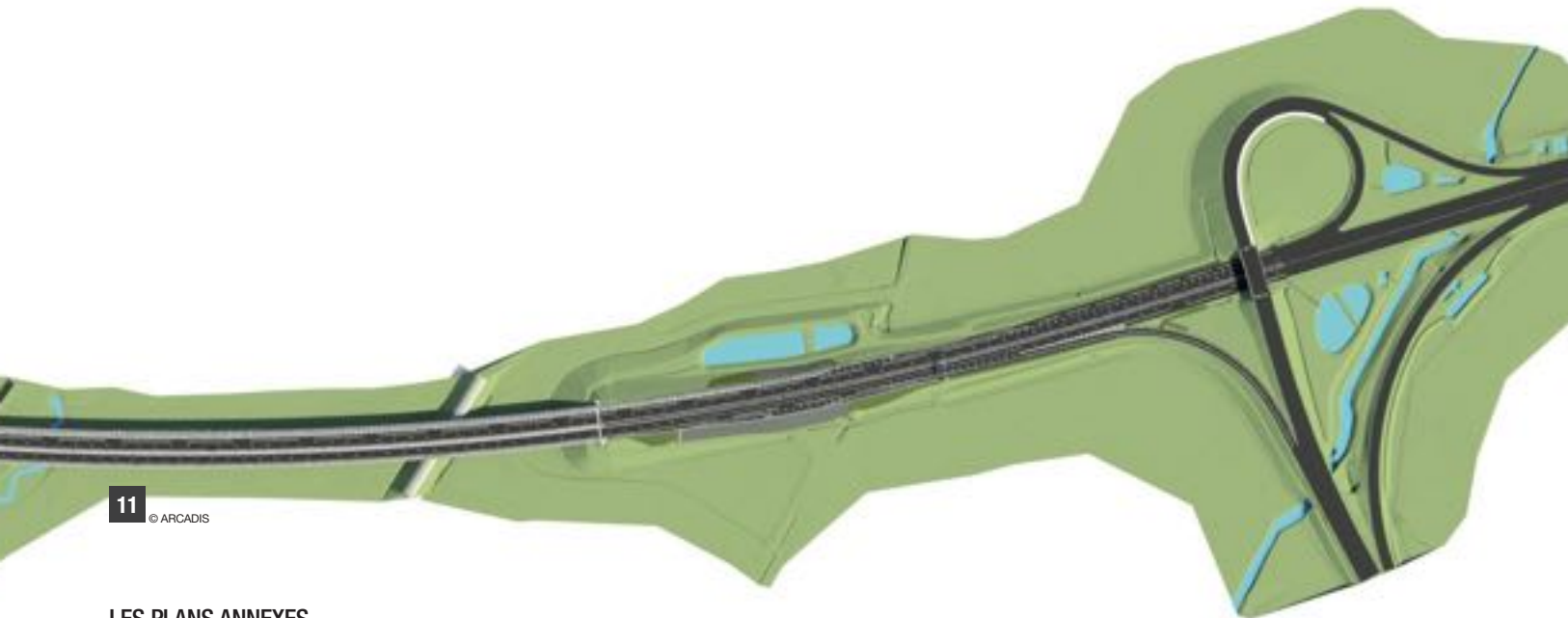
10- Langeais viaduct - Detail of emergency call box.



9



10



11 © ARCADIS

LES PLANS ANNEXES

Vu le niveau de développement des outils et des processus actuels, tout le projet ne peut pas être mené aujourd'hui uniquement sur la base du BIM.

Il est nécessaire de fixer une limite entre des plans directement issus du BIM et des plans de détail qui demanderaient un investissement en temps trop important.

Par exemple les plans de répartition matière de la charpente métallique sont réalisés séparément de la maquette.

Ces limitations devraient disparaître avec l'évolution des outils et des standards.

Notre mission comprenait la réalisation de la maquette pour le projet dans son état final. Les plans de phasage, de

pistes, d'exploitation sous chantier ont été réalisés séparément, en utilisant uniquement des parties de maquettes comme fonds de plan.

11- Viaduc de Langeais - Étendue de la maquette.

12- Viaduc de Langeais - Culée C1.

11- Langeais viaduct - Extent of the model.

12- Langeais viaduct - Abutment C1.

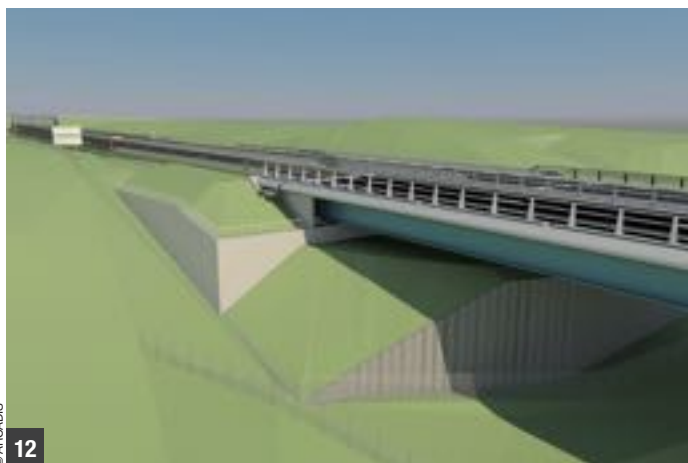
CONCLUSION

La politique d'Arcadis est d'utiliser le BIM comme processus de conception sur la majeure partie des projets tant en infrastructures qu'en bâtiment.

Le projet de doublement des viaducs de Langeais, La Perrée et La Roumer a permis la mise en œuvre de façon approfondie du BIM sur un projet d'infrastructure multidisciplinaire.

Le résultat est positif et a permis de renforcer la compétence d'Arcadis dans ce domaine, et d'accompagner le maître d'ouvrage dans sa volonté de gérer à terme son patrimoine en ayant recours à une maquette numérique. La prochaine étape concerne l'exécution des travaux, pour laquelle une maquette BIM évolutive est demandée.

Ce projet illustre que l'application des processus BIM dans un projet nécessite l'implication de toutes les parties prenantes, que ce soit la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre en conception, en exécution etc. Elle ne se concrétise que si tous les acteurs sont sensibles à la démarche, et se donnent les moyens pour obtenir un projet de qualité grâce aux multiples usages qu'offre le BIM (coordination 3D, maîtrise du phasage, du planning et des coûts, etc.). Cela passe par un appui sans faille de la direction de l'entreprise pour conduire le changement, pour former l'ensemble des équipes et une implication individuelle de chaque acteur du projet. □



© ARCADIS
12

PRINCIPALES QUANTITÉS (PROJET)

VIADUC DE LANGEAIS

BÉTON DE STRUCTURE : 8 000 m³

ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ : 1 410 t

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 2 000 t

TERRASSEMENTS : 49 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Vinci Autoroutes - Réseau Cofiroute

MAÎTRE D'ŒUVRE : Arcadis - Strates

ABSTRACT

USE OF BIM ON THE LANGEAIS BYPASS

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

As project manager for the doubling of three viaducts on the A85 motorway for Cofiroute, Arcadis used the BIM model as its main design tool. It established an appropriate organisation and procedures for the needs of the project and the various entities involved. The use of BIM currently offers definite advantages by comparison with a conventional design, especially from the viewpoint of an understanding of the project, consistency and communication. However, the current BIM standards and the design tools used highlighted some problems with the use of BIM in the case of multi-disciplinary infrastructure projects. □

LA UTILIZACIÓN DEL BIM EN LA VARIANTE DE LANGEAIS

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

Como contratista de la duplicación de 3 viaductos sobre la A85 para Cofiroute, Arcadis ha utilizado la maqueta BIM como principal herramienta de diseño. Arcadis ha creado una organización y procedimientos adaptados a las necesidades del proyecto y de los distintos actores. La aplicación del BIM presenta actualmente ventajas indudables respecto a diseño clásico, en especial desde el punto de vista de la comprensión del proyecto, la coherencia y la comunicación. Por el contrario, los actuales estándares del BIM, así como las herramientas de diseño utilizadas, han puesto de manifiesto algunas dificultades de la utilización del BIM en el marco de proyectos de infraestructuras pluridisciplinarios. □



1
© CARDETE & HUET

ARIANE 6 : DES PROCÉDÉS MODERNES POUR LE PROCHAIN LANCEUR EUROPÉEN

AUTEURS : FRÉDÉRIC CUFFEL, DIRECTEUR DE PROJET, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - SIMON CHARLEY, RESPONSABLE CONFIGURATION, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - GUILLAUME DEFLANDRE, RESPONSABLE SYNTHÈSE ET INTÉGRATION, EGIS INTERNATIONAL - BASTIEN TRUFFAULT, BIM MANAGER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - SYLVAIN COURDIER, DIRECTEUR DE PRODUCTION, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - MAXENCE NICOUX, ADJOINT AU DIRECTEUR DE PRODUCTION, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

APRÈS AVOIR RÉALISÉ LES TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX POUR LE COMPTE DE L'ESA (MAÎTRE D'OUVRAGE) ET DU CNES (MAÎTRE D'ŒUVRE), LE GROUPEMENT EMMENÉ PAR EIFFAGE S'EST VU CONFIER LE MARCHÉ DE CONSTRUCTION DES INFRASTRUCTURES DE L'ENSEMBLE DE LANCEMENT D'ARIANE 6. EN RÉPONSE À UNE CONTRAINTE FORTE SUR LES DÉLAIS, LE BIM A ÉTÉ IMPOSÉ À TOUS LES ACTEURS ET SYSTÈMES PAR LE CNES, QUI AVAIT DÉJÀ ENTAMÉ CETTE DÉMARCHE LORS DE L'AVANT-PROJET, COMME DÉMARCHE GLOBALE SUR LE PROJET. UN SEUL OBJECTIF : IDENTIFIER ET MAÎTRISER LES RISQUES LIÉS À LA COEXISTENCE DES SYSTÈMES.

ARIANE 6 : DE NOUVELLES INFRASTRUCTURES POUR UN NOUVEAU LANCEUR (figure 1)

Le programme Ariane 6, décidé lors de la réunion au niveau ministériel du Conseil de l'Agence spatiale européenne (ESA), le 2 décembre 2014, a pour objectif de réduire de moitié le coût de lancement par rapport à

Ariane 5, afin de maintenir l'Europe en position de numéro 1 sur le marché des lancements commerciaux. Dans ce cadre, le CNES, le Centre National des Études Spatiales, responsable du développement des Moyens Sol au Centre Spatial Guyanais, est en charge de la construction du nouvel ensemble de lancement d'Ariane 6, dénommé ELA4.

1- Vue 3D architecte de la zone de lancement.

1- Architect's 3D view of the launch area.

LE BIM DANS L'ELA4

Dès le stade des études, le CNES s'est inscrit dans la démarche BIM, il a donc logiquement poursuivi cette démarche en intégrant ses exigences BIM dans les termes de référence des appels d'offre de l'ELA4 ainsi qu'en fournissant le projet en maquette numérique à l'issue de l'appel d'offre. Conscient des risques liés à l'interopérabilité des outils

métiers mais aussi des niveaux de maturité potentiellement disparates des futurs intervenants, les exigences formulées ont été centrées sur un nombre limité de cas d'usage (figure 2) :

- La synthèse/coordination 3D ;
- La production de plans géométriques issus des maquettes numériques (coffrage) ;
- Maquette de récolement (DOE).

ÉCLAIR6 : UN GROUPEMENT PLURIDISCIPLINAIRE

Le CNES a retenu Eclair6, le groupement emmené par Eiffage Génie Civil, en tant que mandataire, Eiffage Route, Clemessy, Eiffage Métal, Seh Engineering, Axima et Icop pour la réalisation du contrat infrastructures de l'ensemble de lancement de ce nouveau lanceur européen.

Le contrat comprend la réalisation de tous les ouvrages de l'ELA4, dont le massif de lancement avec ses deux carreaux, le portique mobile (5000 t de charpente métallique pour 90 m de haut) et le Bâtiment d'Assemblage du Lanceur (BAL).

ORGANISATION BIM ARTICULATION DES CELLULES DE SYNTHÈSE DU CNES ET ECLAIR6

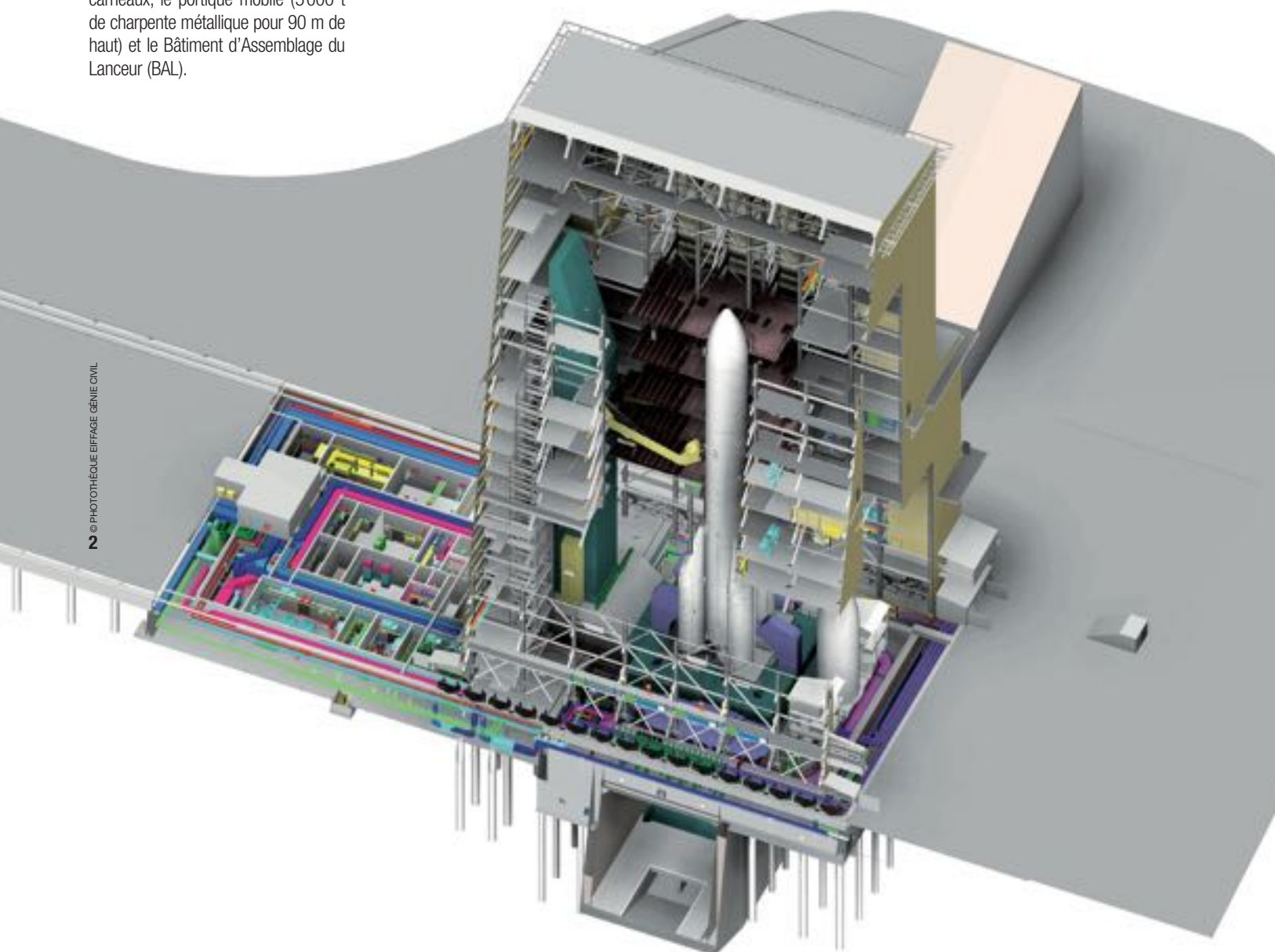
Au regard du périmètre des prestations du groupement Eclair6, le CNES a, dès l'appel d'offre, demandé la constitution d'une cellule de synthèse interne au groupement Eclair6 en articulation directe avec la cellule de synthèse

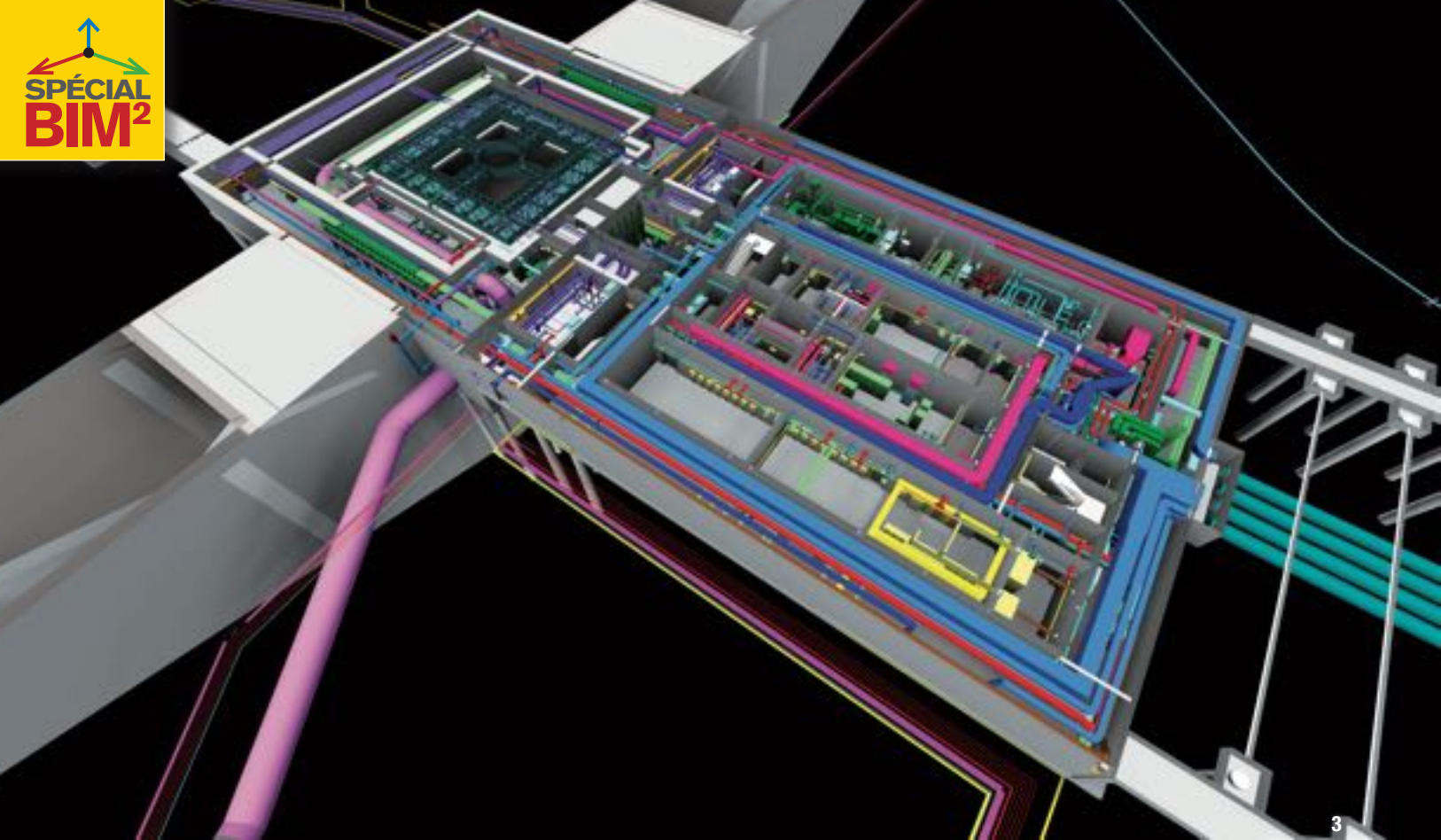
(TCE) tous corps d'état du CNES. Ainsi, un plateau projet synthèse et intégration a été mis en place par le mandataire. Le projet comporte un grand nombre d'interfaces entre différents systèmes qui demandent une coordination au niveau des phases d'études avant que ne soient terminées les études de détail de ces systèmes, que ne soient lancées les fabrications des différents équipements et que ne soient réalisés les travaux sur site. Parallèlement, le CNES s'est doté d'une organisation permettant de centraliser toutes les informations nécessaires pour garantir l'efficacité en phase de conception. Ce choix s'explique, d'une part en raison de la nature de certains bâtiments pour lesquels le travail de synthèse peut se faire essentiellement au niveau du groupement, et d'autre part pour faciliter l'intégration au niveau de la synthèse TCE.

En effet, sur le massif-carreaux, bâtiment principal du projet ainsi que sur les bâtiments connexes, (galeries et stockage cryogéniques) un processus itératif à 2 niveaux d'intégration a été mis au point avec le CNES. Au niveau du groupement, la synthèse doit traiter l'intégration des réseaux des génies climatique, électrique et hydraulique, puis génère un modèle consolidé mis à disposition du CNES dans le but de le confronter aux autres métiers (courants faibles, fluides conventionnels et fluides cryogéniques). De cette confrontation résultent des listes évolutives de conflits qui constituent les ordres du jour des réunions de synthèse TCE. De ces dernières découlent les actions de résolution sous l'arbitrage du CNES. Une fois les réseaux calés, il est ensuite demandé à l'ensemble des métiers de générer les maquettes de réservations faisant elles même l'objet de consolidations avant intégration par le génie civil. ▷

2- Vue de la maquette numérique tous corps d'états du massif-carreaux et du portique.

2- View of the computer model of all trades for the flue structure and portal structure.





3

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL

UN RÉFÉRENTIEL COMMUN : LA CONVENTION BIM

Au démarrage du projet, une mission essentielle fut la définition de la convention BIM retranscrivant les exigences du contrat en règles communes, concrètes, opérationnelles et compatibles avec les spécificités métier. Ces exigences ont fait l'objet de nombreuses réunions de travail sur la structuration de l'information et sur le niveau de détail de l'information contenue dans les objets des maquettes numériques, l'objectif étant de limiter le niveau d'information aux cas d'usage identifiés.

Cette convention, qui a fait l'objet d'ajustements au cours des premiers mois, a aussi pour objectif de fiabiliser le travail de synthèse en fixant des règles communes couvrant les aspects suivants :

- Les processus de la synthèse (workflows formalisés en BPMN) ;
- Le planning de la synthèse ;
- La structuration commune des maquettes, de l'information et des objets (paramètres, codification, niveaux de détail) ;
- Les règles de modélisation (gabarit, géo-référencement) ;
- La gestion des réservations en BIM ;
- Les outils de communication ;
- Le contrôle des maquettes.

SVN : UN SYSTÈME DE COMMUNICATION ET D'ÉCHANGE UNIQUE

Dans un chantier à caractère européen, où chaque intervenant peut être distant de plusieurs centaines voire milliers de kilomètres, la communication joue un rôle important. À ce titre, l'utilisation du BIM, dont l'un des préceptes est

le fonctionnement en mode collaboratif, facilite les échanges sur ce projet. Il est néanmoins rapidement apparu que, pour mettre en place un tel système, il fallait résoudre plusieurs problématiques aussi bien logicielles que culturelles ou contractuelles.

Interopérabilité

Ce projet multi-métiers regroupe différentes disciplines allant du gros œuvre à l'hydraulique en passant par la mécanique. Cette pluridisciplinarité engendre l'utilisation de divers logiciels (Revit, Tekla Structures, Catia, etc.). L'utilisation d'outils différents nécessite la définition de règles de transfert inter-logiciel afin de pouvoir échanger des informations sans perte de donnée, c'est ce que l'on

3- Modèle de compilation de synthèse de la zone de lancement.

4- Vue intérieure des éléments de process de la zone servitude.

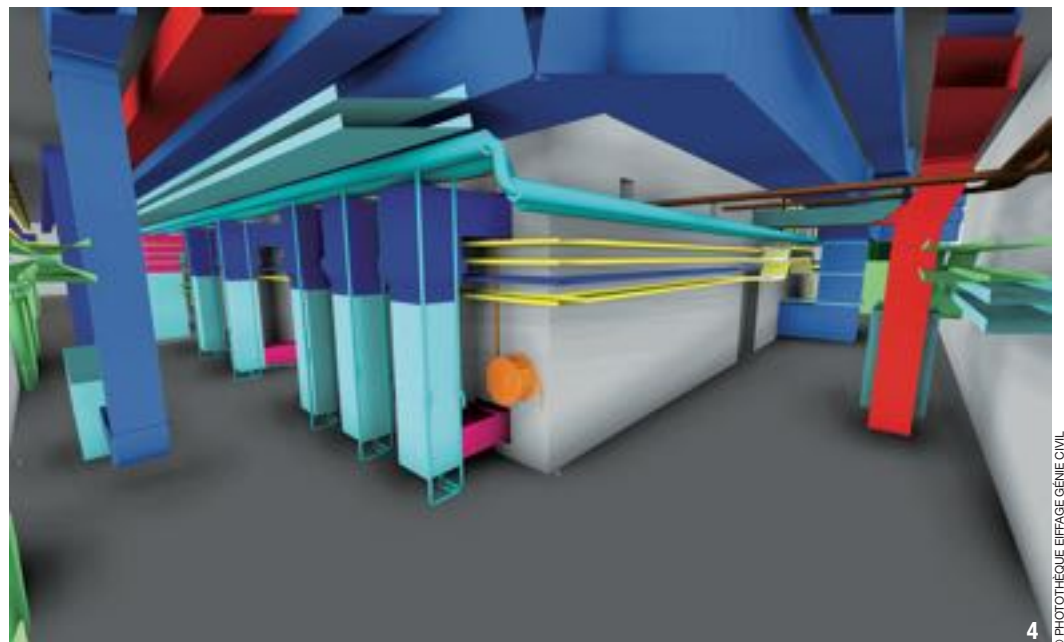
3- Compilation synthetic model of the launch area.

4- Interior view of process aspects of the ancillary systems area.

nomme l'interopérabilité. Dans cette optique, le CNES a exigé que les seuls formats d'échange autorisés soient les .RVT (Autodesk Revit) et .IFC (Format libre). Pour ceux n'utilisant pas ces formats, des procédures de conversion ont été décrites à la fois dans le sens descendant pour qu'ils puissent partager leurs maquettes mais aussi dans le sens montant afin qu'ils puissent utiliser les maquettes des autres.

SVN

La mise en place d'une plateforme collaborative est le deuxième point technique qu'il a fallu résoudre. Les exigences pour cette infrastructure informatique étaient de pouvoir garantir à chaque intervenant l'accès aux



4

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL



© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL

5

maquettes de manière simple, rapide, sécurisé tout en assurant la traçabilité. Une solution basée sur la technologie SVN a été mise en place par le CNES et le groupement. Elle permet de stocker l'ensemble des maquettes et leur historique dans un *data center* tout en travaillant avec un fichier local, l'utilisateur choisissant à quel moment il souhaite synchroniser. Cette solution a l'avantage de permettre d'échanger et de travailler avec des fichiers lourds sans nécessiter de connexion très haut débit.

Culturelles et contractuelles

Outre les problèmes purement informatiques, l'aspect humain qui se traduit par l'adhésion au projet revêt une importance considérable. Comme

5- Vue intérieure de la zone fluides conventionnels.

6- Délimitation 3D d'un zonage ATEX (rouge : propane, bleu : dihydrogène).

5- Interior view of the conventional fluids area.

6- 3D definition of ATEX zoning (red: propane, blue: dihydrogen).

lors de tout changement, la nouveauté peut déstabiliser. Afin d'accompagner et d'uniformiser les méthodologie BIM, des réunions BIM hebdomadaires ont été organisées pendant les premiers mois du projet.

Le processus de synthèse étant concourant, avec une fréquence de dépôt courte nécessaire à son bon déroulement, une codification spécifique indiquant le degré de maturité des différentes parties d'une maquette en cours a été mise en place. Elle est mentionnée en métadonnée de la maquette concernée. Ce système a permis de travailler avec des maquettes non finalisées.

DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

LA COORDINATION DES ÉTUDES D'EXÉCUTION

L'identification des conflits

La synthèse est le cas d'usage BIM principal retenu par le CNES dès la phase d'appel d'offre, elle est donc au centre du développement de la démarche BIM du projet Ariane 6. Grâce à cette méthodologie, cette dernière s'en est retrouvée simplifiée, pour différentes raisons.

Premièrement, grâce au fonctionnement en mode collaboratif, une majeure partie de la synthèse est directement réalisée par les lots techniques puisque ces derniers ont facilement accès aux réseaux et équipements des autres contrats. La cellule synthèse peut alors se consacrer uniquement aux conflits nécessitant un réel arbitrage.

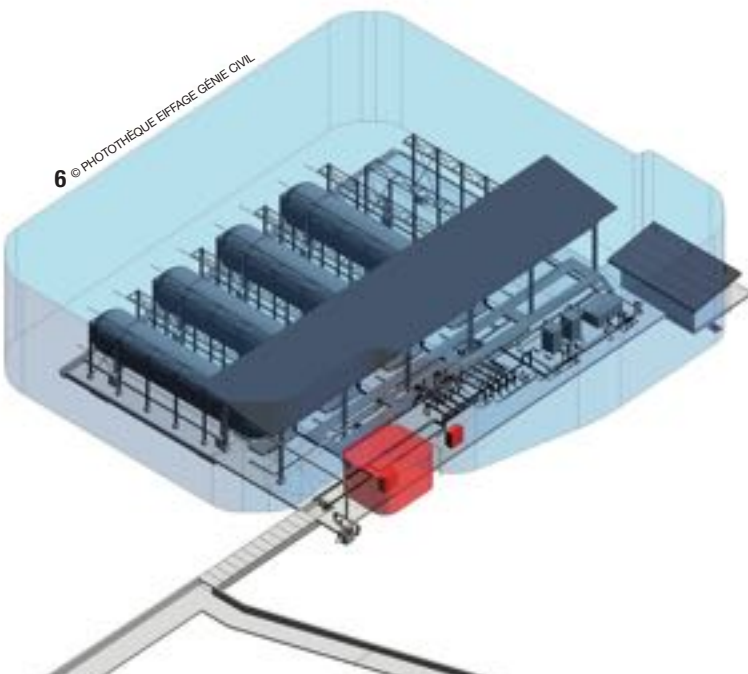
Deuxièmement, avec ce fonctionnement, les plans sont directement issus

de la maquette 3D, ce qui garantit la cohérence entre le modèle 3D et les plans d'exécution (figures 3 à 5). Enfin, une partie du travail réalisé par la synthèse peut être automatisée grâce à l'utilisation de détection de *clashes* (conflits). L'utilisation de ce type de logiciel s'est avérée très utile sur les ouvrages principaux tels que le massif-carreaux ou le portique. Pour ce qui est des plus petits ouvrages, il s'est avéré qu'un simple contrôle visuel était souvent bien plus rapide. En effet, il serait faux de croire qu'une détection de *clash* ne consiste qu'à vérifier qu'aucun des objets présents dans la maquette ne rentre en collision avec un autre. En procédant ainsi, le nombre de *clashes* serait élevé mais la plupart seraient non pertinentes. Pour réaliser une détection efficace il faut donc définir des sélections précises (des ensembles d'objets) et des règles de conflit (une distance). Concrètement, sur un projet comme celui-ci, cela permet à la synthèse Eclair6 et la synthèse CNES de contrôler que la distance minimale entre les chemins de câbles des courants faibles et des courants forts soit respectée. De plus, l'utilisation de substances hautement inflammables des zones ATEX (atmosphères explosives) ont été définies et grâce à cette méthodologie, il est plus simple de vérifier que les équipements se trouvant dans ces zones respectent les normes en vigueur (figure 6).

En réalisant cette étape, il est rapidement apparu que la structuration de l'information était importante. En réalité, les maquettes numériques sont des bases de données où des milliers d'informations sont disponibles. À l'instar du *big data*, l'enjeu réside dans l'utilisation de cette masse de données. Pour simplifier ce processus, une codification par type de système a été imposée afin de pouvoir filtrer plus rapidement les différents objets.

La résolution des clashes

Bien que les lots techniques se basent sur la présynthèse établie par le CNES au stade de l'offre, le projet fait l'objet de nombreuses modifications dont les origines varient : corrections, optimisations, changements de configuration. La résolution des *clashes* sont actées en réunion de synthèse entre Eclair6 et le CNES sur la base d'un travail préparatoire consistant à établir la ou les solutions préférentielles à retenir. Au-delà des aspects physique et technique, l'aspect temporel est aussi un paramètre venant impacter le travail de synthèse.



6 © PHOTOTHÈQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL

Dans des cas précis, des approches conservatrices, comme par exemple allouer des espaces réservés à un réseau dont la position est incertaine ou augmenter la taille de certaines réservations, sont à mettre en œuvre pour ne pas bloquer l'avancement du projet.

La gestion des réservations

Une importance particulière a été accordée au traitement des réservations.

Le choix a été fait de communiquer les demandes de réservation via des maquettes spécifiques de réservations ne contenant que des objets "réservation" dont la famille a été mise au point conjointement par les cellules de synthèse.

Outre l'objet géométrique, ces réservations possèdent des attributs prédéfinis qui permettent d'avoir un maximum de traçabilité : demandeur, identifiant, niveau, dimension, arases, exigences (coupe-feu, étanchéité), nature du réseau traversant, date, indice, statut d'intégration, commentaire.

Une fois exprimées par chacun des lots techniques, les réservations font l'objet d'un contrôle et d'une consolidation au niveau de la synthèse Eclair6. Elles sont ensuite mises à disposition du CNES pour contrôle de cohérence avant demande d'intégration par le BET génie civil.

Certaines réservations sont susceptibles d'être refusées pour raison structurelle ; une itération supplémentaire est alors enclenchée avec les lots techniques concernés.

Partage de l'information

Les projeteurs et la cellule de BIM management sont les acteurs des maquettes numériques du projet mais



© PHOTO THÉRIQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL

ce ne sont en aucun cas les uniques utilisateurs. La mise en place de cette méthodologie doit profiter à l'ensemble des intervenants du projet.

Sur le projet Ariane 6, les différents responsables de lot, l'OPC ou le responsable de configuration ont ainsi les outils leur permettant de visualiser ces fichiers.

Au fur et à mesure, les maquettes se sont naturellement imposées comme un support de communication privilégié lors de réunion de synthèse et des réunions techniques. Facilitant les échanges et la visualisation, elles se sont révélées particulièrement utiles pour l'animation des réunions organisées via visioconférence.

Pour garantir l'accès aux modèles numériques à l'ensemble des collaborateurs, il a été nécessaire de prendre en considération certaines contraintes matérielles et logicielles.

7- Photographie du terrassement des carreaux en février 2017.

8 & 9- Extrait du phasage chantier 4D des carreaux.

10- Vue 3D de l'intégration des outils coffrants dans le phasage travaux.

7- Photograph of earthworks for the flues in February 2017.

8 & 9- Excerpt from 4D site schedule for the flues.

10- 3D view of inclusion of sectional formwork in work scheduling.

Un nombre important d'intervenants ne possède ni d'ordinateur CAO haute-performance, ni de licence de logiciel de modélisation.

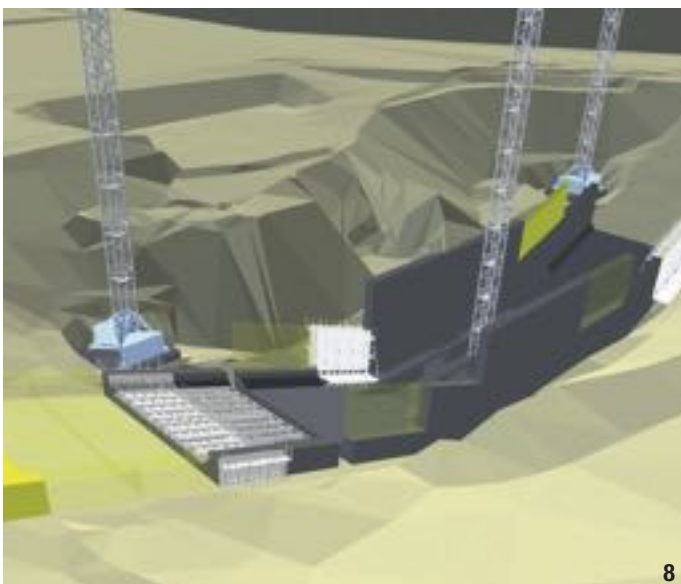
Le choix a donc été fait de créer des maquettes de compilation sous Navisworks. Celles-ci ont l'avantage d'être légères et ne nécessitent qu'un viewer gratuit pour être consultées.

À terme, sur chantier, l'utilisation des PDF 3D encore plus accessibles est envisagée.

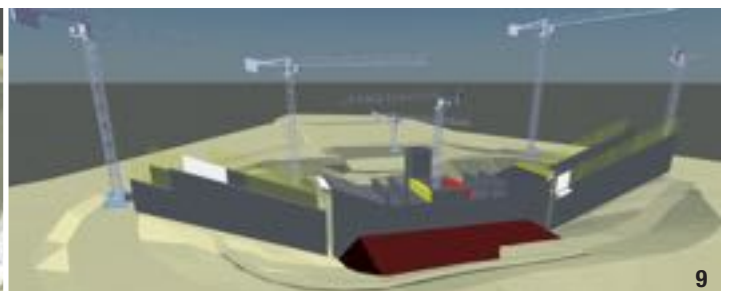
LE CHANTIER

MN 4D pour la mise au point des méthodes GC du massif-carreaux

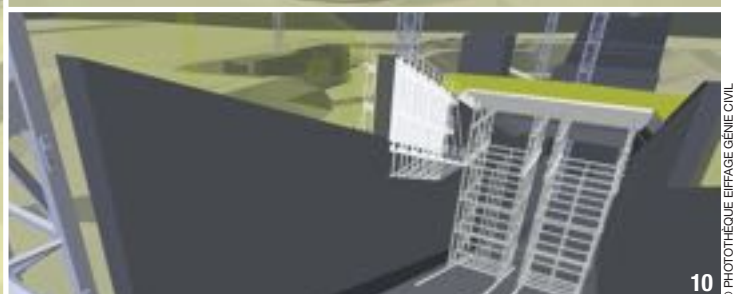
Le management du projet selon une approche BIM est également exporté sur chantier à Kourou. La maquette numérique Structure du massif-carreaux issue du plateau projet synthèse est utilisée pour définir les méthodes de construction.



8

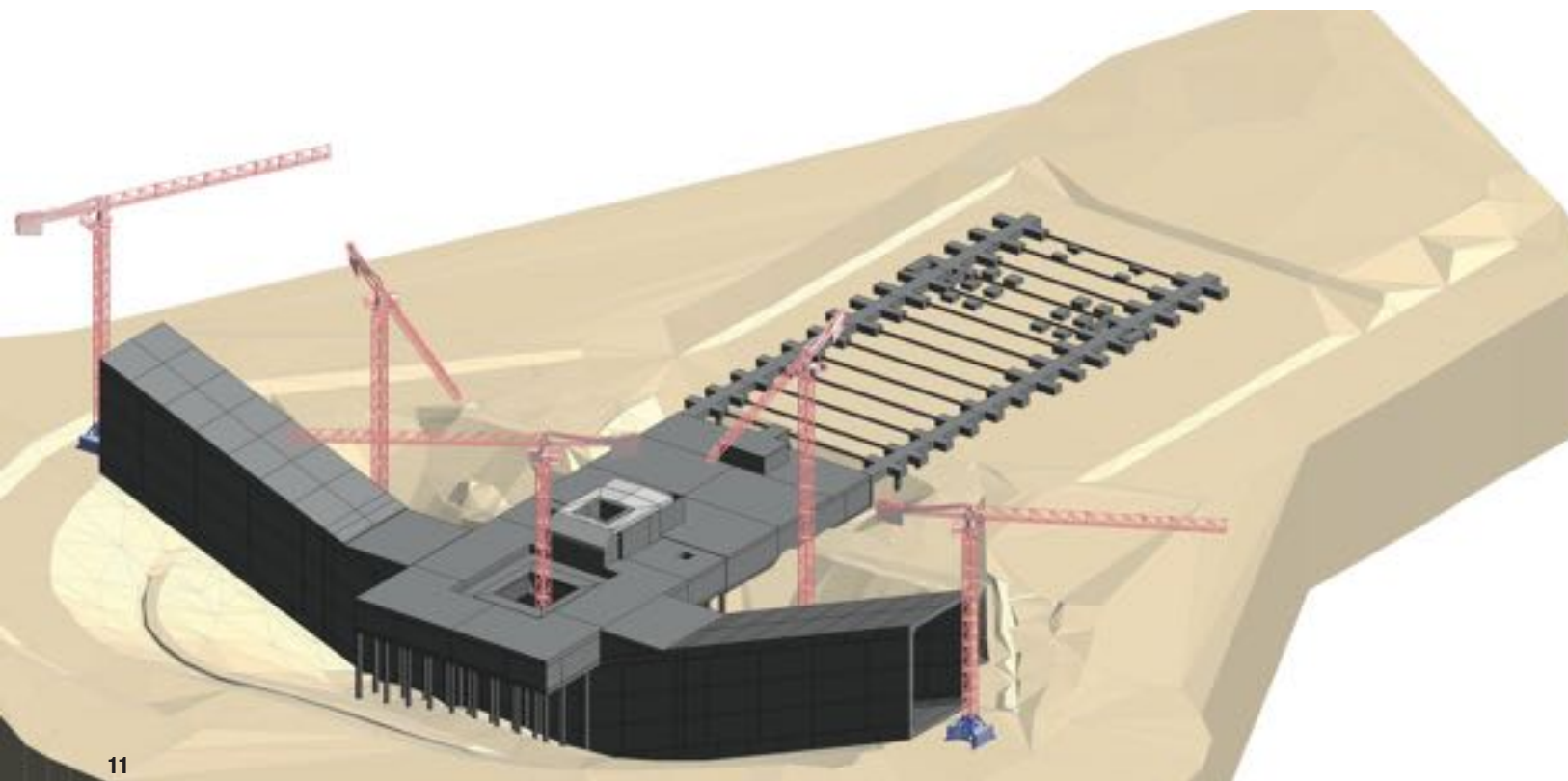


9



10

© PHOTO THÉRIQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL



11

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE GÉNIE CIVIL

La maquette est découpée selon le phasage de réalisation de l'ouvrage. Chaque plot de bétonnage est référencé, caractérisé et paramétré pour extraire rapidement les informations importantes (surfaces, volumes, types, niveaux, etc.).

Les outils et installations provisoires sont également intégrés et modélisés grâce au logiciel 3D Revit.

La maquette numérique et le planning travaux de l'ouvrage sont deux outils performants qui le deviennent d'autant plus lorsque l'on parvient à les faire communiquer.

En synchronisant le planning MS Project, via le logiciel Navisworks, avec la maquette numérique Revit, une dimension supplémentaire est ajoutée à la 3D : le temps.

C'est ce que l'on appelle la planification 4D. Il s'agit d'une notion novatrice en termes de méthode de préparation de chantier.

Cet outil permet :

→ D'améliorer la précision et l'optimisation des méthodes de chantier ;

11- Vue de la zone de lancement et de ses installations de chantier.

11- View of the launch area and its site facilities.

→ De détecter et d'appréhender les éventuelles zones d'interfaces et de conflits entre les outils, les équipes et les corps de métier ;

→ De visualiser la projection tridimensionnelle de l'ouvrage à une date et un niveau de détail souhaités ;

→ De présenter à l'ensemble des intervenants la construction de l'ouvrage ;

→ D'optimiser les cycles de rotation des outils coffrants ;

→ D'identifier des incompatibilités de méthodes ainsi que la notion de coactivité entre les intervenants ;

→ De dialoguer de manière très efficace avec la maîtrise d'œuvre sur le pilotage du projet.

La planification 4D est un outil particulièrement performant dans la préparation de chantier, qui se doit d'être développé et appliqué systématiquement sur les chantiers de génie civil à haute technicité (figures 7 à 11). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

TERRASSEMENT MEUBLE : 170 000 m³

TERRASSEMENT ROCHEUX : 30 000 m³

BÉTON : 40 000 m³

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 6 000 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : ESA

PRIME CONTRACTOR : CNES

INGÉNIEURS CONSEIL : A7X = Betem, Decare, Ingerop, Seureca, Air Méca

ARCHITECTES : Cardete & Huet

GROUPEMENT : Eclair6 composé de : Eiffage Génie Civil (mandataire), Clemessy, Eiffage Métal, Eiffage Route, Engie Axima, Icop, Seh Engineering

BUREAUX DE CONTRÔLE : Socotec et Apave

ABSTRACT

ARIANE 6: MODERN PROCESSES FOR THE NEXT EUROPEAN LAUNCHER

FRÉDÉRIC CUFFEL, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - SIMON CHARLEY, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - GUILLAUME DEFLANDRE, EGIS INTERNATIONAL - BASTIEN TRUFFAULT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - SYLVAIN COURDIER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - MAXENCE NICOUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

The consortium led by Eiffage has been awarded a contract by the Centre National des Études Spatiales (CNES) for infrastructure construction for the Ariane 6 launch system. To ensure detailed technical and geometric coordination of the various systems, an overall BIM approach has been deployed for all those involved in the project. This approach makes it possible to share information between systems as soon as possible, with a view to their integration. This sharing, made possible by the establishment of a collaborative platform, can ensure the short iterations required by the project manager. □

ARIANE 6: PROCEDIMIENTOS MODERNOS PARA LA PRÓXIMA LANZADERA EUROPEA

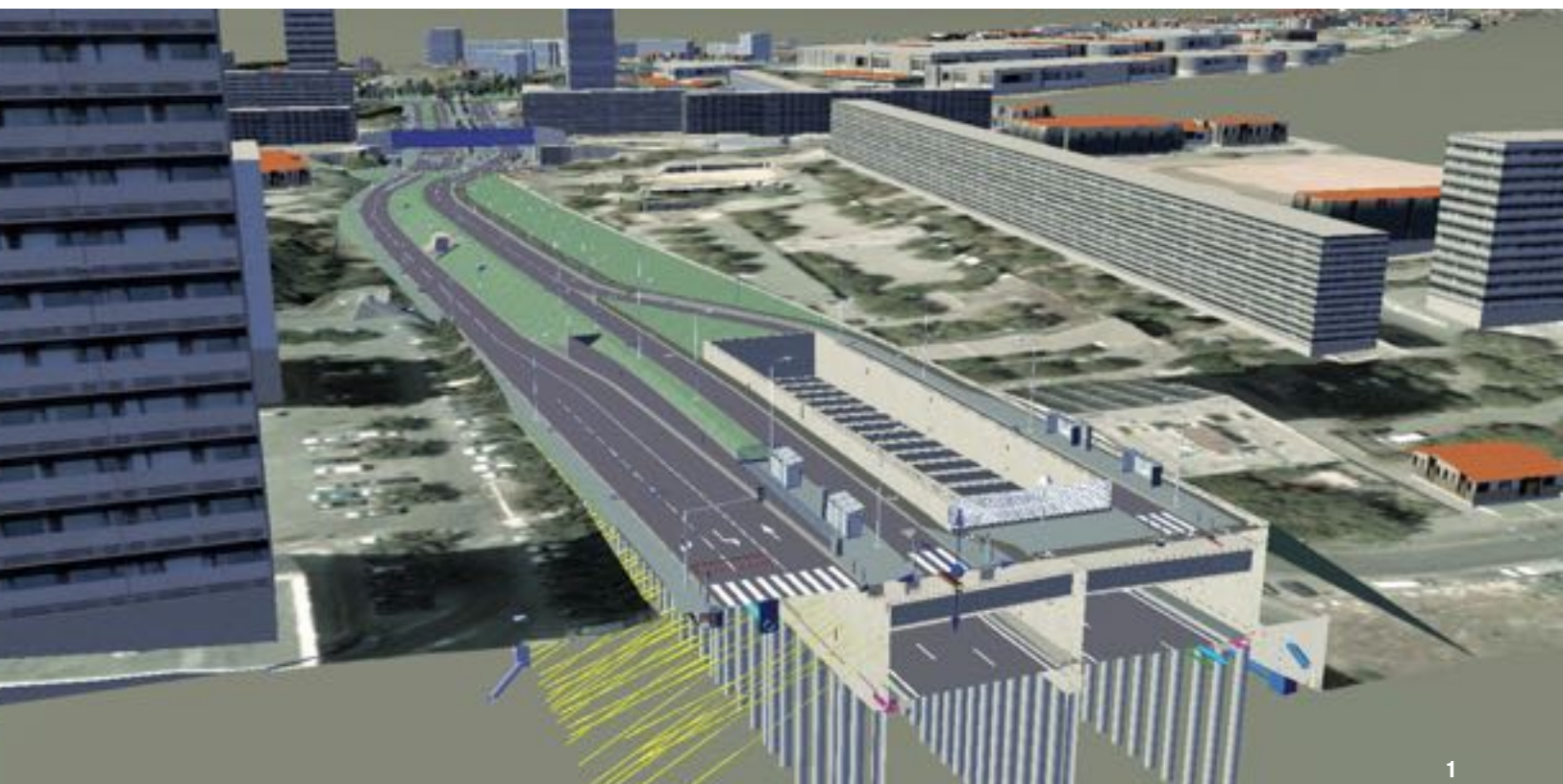
FRÉDÉRIC CUFFEL, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - SIMON CHARLEY, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - GUILLAUME DEFLANDRE, EGIS INTERNATIONAL - BASTIEN TRUFFAULT, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - SYLVAIN COURDIER, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - MAXENCE NICOUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

El Centro Nacional francés de Estudios Espaciales (CNES) ha otorgado al consorcio liderado por Eiffage el contrato de construcción de las infraestructuras de la base de lanzamiento del Ariane 6. Para garantizar una precisa coordinación técnica y geométrica de los diferentes sistemas, se ha desplegado un procedimiento BIM global entre todos los actores del proyecto. Este procedimiento permite a los sistemas compartir rápidamente la información para su integración. Esta puesta en común, posible gracias al uso de una plataforma colaborativa, garantiza las iteraciones de corta duración necesarias para la dirección de la obra. □

LE BIM EN REVUE DE CONCEPTION : UN SUPPORT INCONTOURNABLE D'AIDE À LA DÉCISION - ROCADE L2

AUTEURS : CORENTIN BUSSON, BIM MANAGER ROCADE L2 / MARSEILLE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - JOHANN CADREN, BIM COORDINATEUR ROCADE L2 EST / MARSEILLE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - FRÉDÉRIC VOISINOT, BIM COORDINATEUR ROCADE L2 NORD / MARSEILLE, VALERIAN

DEPUIS 2014, SUR LE PROJET DE L'AUTOROUTE URBAINE A507 DE MARSEILLE (APPELÉE ROCADE L2), UNE ÉQUIPE DE BIM MANAGEMENT ŒUVRE POUR DÉPLOYER ET ALIMENTER UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE EN PHASE EXE. LA REVUE TRAVAUX SPÉCIAL BIM D'OCTOBRE 2015 AVAIT DÉJÀ DÉDIÉ UN ARTICLE SUR LE SUJET DE LA MISE EN PLACE D'UNE MAQUETTE NUMÉRIQUE. CET ARTICLE SE CONCENTRERA SUR L'UTILISATION DU BIM EN REVUE DE CONCEPTION, ET EN PARTICULIER, SUR LA DÉFINITION DES PRÉREQUIS NÉCESSAIRES POUR INSTAURER LA CONFIANCE EN ASSURANT LA FIABILITÉ DES DONNÉES.



1
© GIE L2

INTRODUCTION

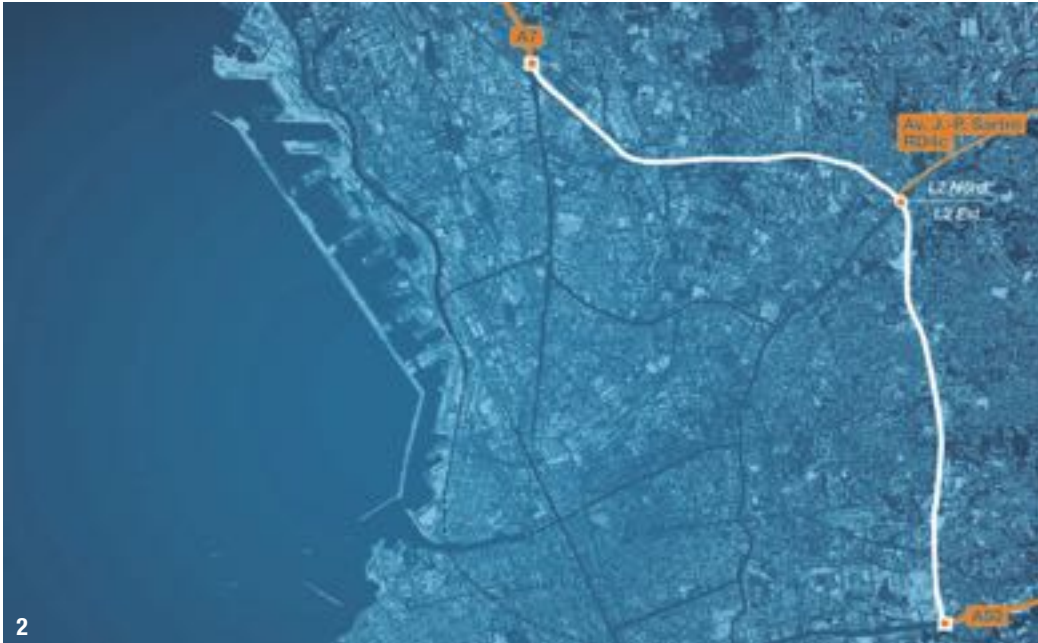
L'autoroute A507 à Marseille, appelée Rociade L2, est un projet commencé dès les années 90, mais non abouti. Afin de finaliser ce projet d'infrastructure, important pour désengorger le centre-ville de Marseille, l'État a signé un partenariat public-privé avec le groupement « GIE L2 » piloté par Bouygues Construction. Ce groupement est com-

posé, côté constructeurs, des sociétés Bouygues Travaux Publics, Dtp, Colas, Spie Batignolles, et, côté ingénieries, des sociétés du groupe Egis et de nombreux bureaux d'étude. Ce groupement a en charge la réalisation et la mise aux normes, ainsi que la maintenance et l'exploitation pendant 30 ans. Cette infrastructure urbaine gratuite servira de rocade périphérique à la

1- Aménagement de surface de la tranchée couverte Sainte-Marthe.

1- Surface development of the Sainte-Marthe cut-and-cover tunnel.

ville de Marseille. De près de 11 km, elle reliera l'A7 au nord et l'A50 à l'est. La complexité géométrique du tracé est avant tout liée au contexte du projet :
→ La portion Est : des travaux commencés dans les années 90 et inachevés contraignent fortement le tracé ; l'évolution des réglementations entraînent certaines modifications de la conception.



© GIE L2
2

→ La portion Nord : la réalisation complète des travaux dans un corridor réservé à cet effet, dans un environnement urbain particulièrement dense, une zone où la circulation est déjà difficile.

→ Le planning de conception est tendu vis-à-vis de la réalisation.

Le projet se compose de plusieurs dessertes locales (4 échangeurs complets) afin de créer un nouvel axe urbain.

2- Tracé de la rocade L2 à Marseille.
3- Tableau de suivi de l'intégration des données dans la maquette.

2- Alignment of the L2 ring road in Marseilles.
3- Monitoring table of data incorporation in the model.

En marge du projet, une grande réorganisation des quartiers Nord est déjà en œuvre et de nouveaux espaces verts seront créés sur les portions couvertes de l'autoroute. La prise en compte des contraintes hydrauliques est évidemment primordiale, ainsi que la garantie d'un haut niveau de sécurité imposé par une voie rapide urbaine (figure 2). Dès le démarrage de cette nouvelle phase de travaux, la direction de projet,

assurée par Bouygues Travaux Publics, épaulée par Egis pilotant la direction de l'ingénierie, a pris la décision forte et ambitieuse de lancer une démarche 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 aux niveaux des échangeurs A7 et A50, mais aussi au niveau de la tranchée couverte de Sainte-Marthe, réalisée sous circulation ;
- Utiliser la maquette numérique pendant les revues de conception, comme système d'aide à la décision ;
- Communiquer avec les services de l'État, les élus et les riverains, en montrant l'impact des travaux sur le quotidien des usagers.

Le principe de base de cette démarche BIM est de faire une représentation 3D du projet par agrégation des données issues de la multitude des contributeurs et d'en faire la synthèse tout en conservant les données techniques. Pour y arriver, il est nécessaire d'instaurer des processus communs de travail collaboratif, afin d'assurer la qualité des informations, de valider des choix et de prendre des décisions fiables.

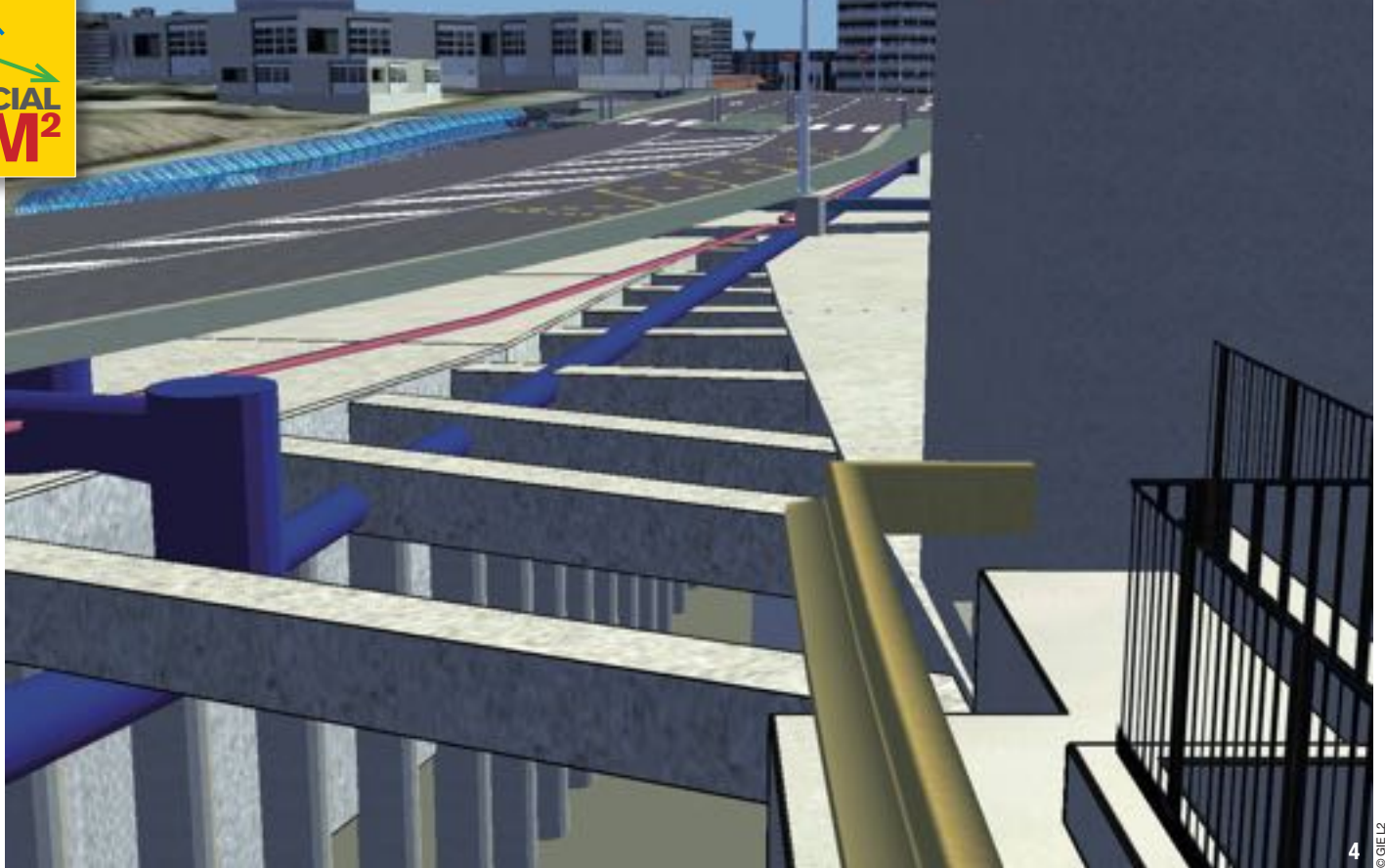
TABLEAU DE SUIVI DE L'INTÉGRATION DES DONNÉES DANS LA MAQUETTE

© GIE L2
3

LA MAQUETTE EXE DE SYNTHÈSE

Piloté par le GIE L2, cette maquette est composée essentiellement de données de conception EXE et dans certain cas de données de conception PRO. Pour ce projet, on se limitera à la modélisation 3D des plans de coffrage pour les ouvrages de génie civil et à la couche de roulement pour les chaussées. Quant aux équipements, le travail sera porté sur le gabarit et la position. La modélisation et l'intégration sont à 95 % réalisées par l'équipe BIM présente sur chantier.

Cette équipe a mis en place, au début du chantier, un outil de gestion et de suivi de l'intégralité des systèmes et objets à modéliser (sous forme d'un fichier Excel), une charte CAO/DAO afin de simplifier l'interopérabilité des conceptions. Chaque plan 2D ou modèle 3D doit absolument être géoréférencé dans le système géodésique du projet, dessiné en mètres et codifié selon les procédures définies dans la charte.



4
© GIE L2

La conception se réalise de manière traditionnelle, c'est-à-dire que les bureaux d'études EXE repartent des données de la conception PRO (réalisée par la maîtrise d'œuvre) et modifient ou adaptent cette conception suivant les méthodes constructives définies par le chantier. Traditionnellement, ces bureaux d'études déposent dans la GED du projet (Gestion Electronique de Documents) les plans 2D (fichier source + pdf).

La majeure partie de la conception est donc toujours réalisée en 2D, sauf pour certains lots qui sont réalisés en 3D par certains bureaux d'étude plus matures, dont le lot chaussées et rétablissements (Bureau d'étude IRE). Le chantier étant pilote dans le développement du BIM infrastructure, il a été demandé aux deux bureaux d'études internes (Bytp et Spie Tpci) de participer à ce déploiement en modélisant leur propre conception (figure 1).

Dans la majorité des cas donc, l'équipe BIM présente sur chantier se réapproprie les plans 2D fournis dès leur première version pour les modéliser en 3D. Elle réalise les actions suivantes :

- Ajout ou mise à jour de l'élément dans le tableau de suivi qui liste les plans de coffrage pour chaque ouvrage (figure 3) ;
- Analyse du type d'ouvrage (ou d'objet) pour définir quel outil est pertinent pour la modélisation en 3D. Les logiciels utilisés sont : Civil 3D, Inventor ou même Autocad.
- Modélisation en suivant la codification et la charte CAO/DAO définie en début de chantier ;
- Génération de la maquette numérique de l'ouvrage (maquette numérique unitaire) avec Vianova Virtual

Map. Ce logiciel permet de texturer ou de paramétrer des actions (transformer des objets 2D en bloc 3D, créer des réseaux drapés sur une surface à partir de polygones 2D...) suivant la codification ;

- Intégration dans la maquette numérique globale avec VDC Explorer (Vianova Système). Cette maquette est le résultat de l'agglomération de toutes les maquettes numériques unitaires. C'est elle qui est ensuite utilisée en réunion pour analyser les conflits. Il a été décidé d'avoir trois maquettes différentes (L2Est, L2Nord des Tilleuls au Merlan, L2Nord du Merlan aux Arnavaux) afin de réduire le temps d'ouverture et la mémoire sollicitée. De plus, le projet L2 étant divisé en deux parties distinctes (avec des dates de

4- Interférences entre réseau d'assainissement et le génie civil de la tranchée couverte Sainte-Marthe.

5- Accès de maintenance et rampe PMR OAC17.

4- Interférences between drainage network and civil works for the Sainte-Marthe cut-and-cover.

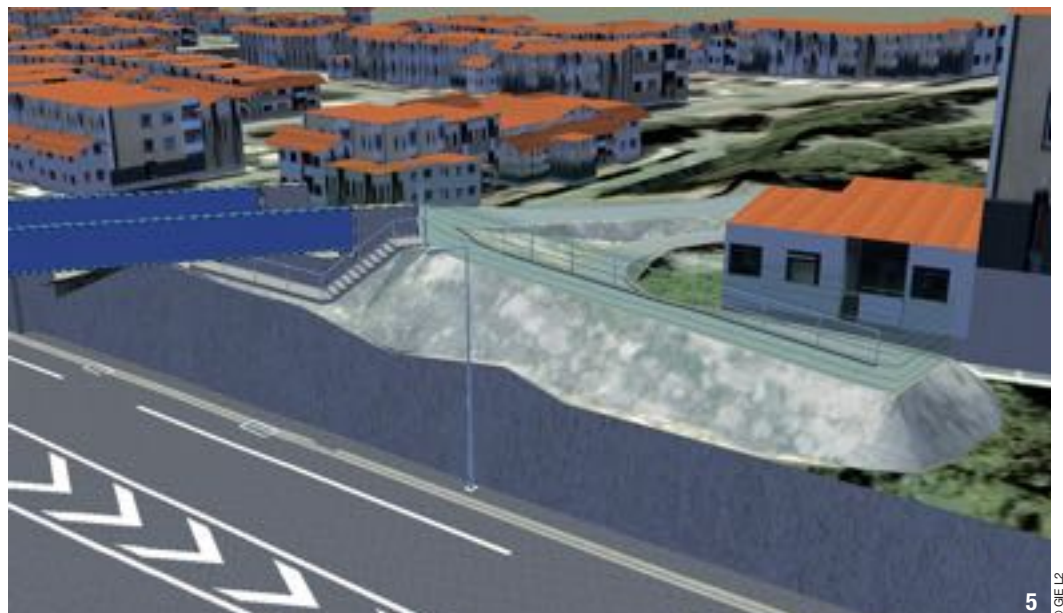
5- Maintenance access and PRM ramp OAC17.

livraison différentes), cette séparation était cohérente. VDC Explorer ne peut malheureusement pas être utilisé en collaboration (c'est-à-dire en accès simultané par plusieurs contributeurs).

Une fois ces étapes réalisées, commentent les tâches d'analyse et de vérification de la cohérence de la conception. Si un conflit géométrique est détecté, les responsables des ouvrages en incohérence sont alertés par mail.

Ce processus est réalisé en avance ou en parallèle du circuit classique de validation par visa de la MOE.

Dans certains cas, l'analyse nécessite des connaissances techniques et réglementaires poussées (visibilité, gabarit, contrainte autoroutière, couverture autour d'un réseau) et, pour cela, l'équipe BIM s'appuie sur des experts



5
© GIE L2



© GIE L2

présents sur site (maîtrise d'œuvre ou ingénieurs dédiés).

L'équipe BIM est garante de la cohérence des données intégrées dans la maquette, mais en aucun cas responsable de la conformité de la conception vis-à-vis des réglementations en vigueur.

Malgré cette remarque, l'expertise technique de l'équipe de BIM management a permis certaines adaptations rapides, voire des modélisations de zones manquantes ou mal raccordées, sous le contrôle des Coordinateurs Études Techniques (CET) concernés (figure 4).

Il est évident que toute cette modélisation 3D a bien d'autres usages que la mise en cohérence des livrables.

La facilité de compréhension des ouvrages à construire au moyen d'une

6- Distance de visibilité de la tranchée couverte Sainte-Marthe.

7- Gestion des interfaces entre la signalisation et les équipements.

6- Visibility distance of Sainte-Marthe cut-and-cover.

7- Management of interfaces between signing and appurtenances.

visualisation commune partagée a conforté la direction de projet à utiliser cette maquette complète comme support d'aide à la décision.

Afin de garantir une maquette la plus fiable possible vis-à-vis du plan EXE, un certain nombre de contrôles et d'auto-contrôles sont mis en place.

La vérification de la mise à jour des plans sources (indice du plan) par rapport au modèle 3D est une étape primordiale.

La seconde consiste à vérifier que le modèle 3D est bien modélisé/paramétré (superposition de la vue en plan 2D avec le modèle 3D, vérification des files d'eau, contrôle des altimétries).

Dans le cas où un problème est détecté (analyse d'interférence), un contrôle traditionnel peut être fait (superposition des plans 2D) avant d'alerter les

CET. Ces derniers sont contactés par l'équipe BIM lorsque le doute persiste. Les ingénieurs du bureau d'étude EXE sont prévenus le cas échéant.

Une fois ses contrôles effectués, la maquette numérique est considérée comme fiable et représentative de la conception.

REVUE DE CONCEPTION À L'AIDE DE LA MAQUETTE

Afin d'éviter les mauvaises surprises sur le chantier, des revues de conception trimestrielles sont traditionnellement instaurées pour vérifier le bon avancement des études et des travaux.

Ces réunions ont pour objectif de réunir la direction, la direction technique, la maîtrise d'œuvre ainsi que les responsables de production.

Le but de cette réunion est de vérifier que rien n'a été oublié, de contrôler la cohérence globale du projet et de traiter d'éventuelles interfaces entre les différents corps de métiers.

Organisée sur une demi-journée, la réunion convie également le BIM Manager qui présente l'état d'avancement de la maquette, en conformité avec les plans validés en GED.

Chaque chef de zone (génie civil, terrassement, équipement, déviation provisoire, chaussée, réseaux) est présent ainsi que les CET (Coordinateur Étude Travaux) de la direction technique et les responsables du projet (directeur de projet, directeur technique, directeur production, directeur équipement).

La maquette numérique est projetée par le BIM manager qui navigue au sein du projet virtuel, du PK (profil kilométrique) de démarrage du projet considéré jusqu'à la fin.



© GIE L2
7

Par exemple pour la partie Nord, depuis la sortie Tranchée couverte des Tilleuls jusqu'à l'extrémité du tracé, (à savoir le raccordement à l'autoroute A7), en déroulant « mètre par mètre » le projet dans son état le plus avancé des études validées à ce jour. Au fur et à mesure de l'avancement, chaque personne présente peut stopper si nécessaire la navigation afin de signaler un problème rencontré, une inquiétude ou une incertitude sur l'ouvrage où la tâche doit être réalisée. Par exemple, cela peut être :

- Un écart entre la conception et la réalisation ;
- Un réseau qui passe au mauvais endroit (précision des DICT) ;
- Une couverture de réseau non respectée ;
- Un accès de maintenance non étudié ou semblant non adapté (en présence du contexte global autour de l'équipement considéré).

Dans l'exemple présenté figure 5, la maquette numérique a permis de prédéfinir le tracé de la rampe vis-à-vis des contraintes (portails d'accès, mur cloué, limite parcellaire) et de fournir la liste des plans à prendre en compte dans l'étude EXE du tracé. Un contrôle après conception a été réalisé dans la maquette afin de vérifier l'insertion et la cohérence de l'objet. Dans tous les cas, une décision est prise immédiatement, l'information est notifiée dans le compte rendu et le plan d'action associé y est indiqué (qui, quand, comment). Ce compte rendu est évidemment suivi et repris d'une réunion à l'autre pour vérifier que les points identifiés ont bien été traités et corrigés.

La maquette ici n'est qu'un support à la décision pour faire une analyse globale des écarts et avancements Conception-Exécution-Réalisé. Une analyse complète peut être nécessaire après la réunion, afin de vérifier les impacts sur les autres disciplines éventuellement impactées, sur le planning ou les coûts engendrés.

Pendant une revue de conception, un problème lié à la distance de visibilité des panneaux de signalisation en fin de virage est apparu (figure 6), la prise de mesure instantanée a levé le doute immédiatement.

LES PERSPECTIVES

Suite au retour d'expérience de la mise à disposition de la L2 Est, un certain nombre de points bloquants concernait l'implantation des panneaux de signalisation et des marquages horizontaux. Afin d'optimiser le temps de validation



8- Simulation de circulation en tunnel.

9- Étude de visibilité d'un divergeant en tunnel.

8- Simulation of traffic in the tunnel.

9- Visibility study of a divergent in the tunnel.

du projet de signalisation (Signalisation horizontale et verticale), des réunions régulières avec le GCA (Sous-direction de la Gestion et du Contrôle du réseau Autoroutier concédé) ont été mises en place.

Véritable outil d'accompagnement à la conception, la maquette numérique a permis, lors de ces réunions, la vérification de la visibilité, de la signalisation verticale et horizontale et de gérer les interfaces avec les équipements.

Un soin particulier sur la taille, la position et le rendu a permis d'appréhender ce qui sera réalisé réellement sur site. Des points de vue et des chemins de navigation au sein de la maquette virtuelle sont prédéfinis et présentés lors des réunions de travail.

Tous les commentaires et remarques sont ensuite repris dans le modèle 3D jusqu'à pré-validation. Une fois cette étape terminée, un plan « PRO+ » est réalisé par l'équipe BIM qui permet de faire le plan d'exécution définitif,

conformément aux recommandations du GCA.

Un travail de synthèse, de visibilité et de ressenti est nécessaire dans des zones complexes comme au niveau des carrefours de surface (figure 7). Quelques exemples ci-dessous de

contrôle effectué suite au retour d'expérience de la L2 Est :

→ La figure 8 représente le contrôle de visibilité des FAV (Feux d'Affectation des Voies) en rouge. À la demande du GCA, un usager de la route doit toujours voir au moins une rampe de feux. De la conception initiale, un vide avait été détecté en amont ce qui a permis de reprendre le plan avant la mise en place des équipements sur site.

→ Un autre type de contrôle effectué dans la maquette numérique (figure 9), est la visibilité des balises J14 (élément en vert et blanc au milieu de l'image).

Le ressenti de l'utilisateur à l'approche de cet équipement ne peut être simulé sur un plan 2D. Ici, un cheminement animé a été défini et présenté au GCA, la pré-validation de l'implantation permet d'anticiper d'éventuelles interférences avec les équipements ou réseaux sous chaussée.



CONCLUSION

Dès aujourd'hui appliqués sur les grands projets d'infrastructure, la maquette numérique et les processus BIM sont en plein développement et offrent de nouvelles perspectives techniques, dont les limites semblent inimaginables.

Les outils de modélisation progressent, les agrégateurs de données montrent enfin leurs possibilités, les normes autorisent des classifications « systèmes », les plateformes d'échange

permettent de faire du vrai travail collaboratif, voire concomitant. Mais les processus à développer et à fiabiliser pour entraîner l'ensemble des acteurs, les efforts pour mobiliser la chaîne de valeur complète de la profession sont encore des challenges immenses.

Que ce soit pour faire de la synthèse de conception ou des revues techniques de conception, seules l'implication de tous et la confiance des acteurs dans les données exposées permettront un bon usage de cette technologie, qui

semble inéluctable tant les progrès sont rapidement visibles et notoires.

Mais, attention toutefois, la connaissance technique du métier de la construction doit être maîtrisée par l'équipe BIM. Cette équipe n'est absolument pas une bande de *geeks* ou de gestionnaires de données. Elle doit savoir émettre des doutes, savoir communiquer avec le bon vocabulaire sur les incohérences identifiées, afin de prouver sa crédibilité, sa valeur-ajoutée et son rôle dans l'équipe. Il faut que

les acteurs de cette cellule soient de bon communicants et constituent une force de proposition. Il faut qu'ils soient encadrés et pilotés par des experts, car le périmètre des connaissances nécessaires pour tout projet d'infrastructure est vaste, et souvent très différent d'un type de projet à l'autre. C'est cette accumulation d'expertises qui permet d'instaurer la confiance indispensable à la prise de décision au moyen d'une maquette 3D structurée, parfaitement renseignée et en permanence à jour. □

ABSTRACT

BIM IN DESIGN REVIEW: INDISPENSABLE DECISION SUPPORT - L2 RING ROAD

CORENTIN BUSSON, BOUYGUES TP - JOHANN CADREN, BOUYGUES TP -
FRÉDÉRIC VOISINOT, VALERIAN

The Marseilles L2 ring road is one of the very first infrastructure projects in France to have deployed a BIM Management team. 3D modelling of all the works on the 11 km urban motorway allowed it to be used in model reviews (synthesis), but also in design reviews. BIM eliminates vagueness, and therefore leads to no interpretation. Insofar as trust in the model's data has been established, BIM becomes an indispensable decision support tool, placing each stakeholder before its responsibilities. □

EL BIM PARA EL ANÁLISIS DEL DISEÑO: UN SOPORTE IMPRESCINDIBLE DE AYUDA DECISIONAL - CINTURÓN L2

CORENTIN BUSSON, BOUYGUES TP - JOHANN CADREN, BOUYGUES TP -
FRÉDÉRIC VOISINOT, VALERIAN

El cinturón L2 de Marsella es uno de los primeros proyectos de infraestructuras en Francia que ha movilizado a un equipo de BIM Management. La modelización en 3D del conjunto de las obras a lo largo de los 11 km de recorrido urbano ha permitido realizar estudios de la maqueta (síntesis), pero también análisis del diseño, ya que el BIM no permite inconcreciones y, por tanto, no genera ninguna interpretación. Si los datos de la maqueta son fiables, el BIM se convierte en un soporte decisional imprescindible que fija las responsabilidades de cada actor. □



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 935 « Ville et patrimoine »
- TRAVAUX n° 936 « International »
- TRAVAUX n° 937 « Travaux maritimes et fluviaux »

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



1

© WILMOTTE & ASSOCIÉS

OPC 2.0 : PILOTAGE 4D DES TRAVAUX DE RÉHABILITATION DE LA HALLE FREYSSINET

AUTEURS : XAVIER SEGUIN, INGÉNIEUR-ARCHITECTE, SPÉCIALISTE BIM PLANIFICATION 4D, CICAD - DAVID CHAMBRE, DIRECTEUR DE PROJET HALLE FREYSSINET, CICAD

DÉPOUSSIÉRER UN MONUMENT HISTORIQUE FERROVIAIRE POUR EN FAIRE LE PLUS GRAND INCUBATEUR FRANÇAIS DE START-UP ; TELLE EST L'AMBITION DE XAVIER NIEL, POUR LA HALLE FREYSSINET DEVENUE DÉSORMAIS STATION F. UN CHOIX AMBITIEUX, SITUÉ DANS UNE ZONE EN RECOMPOSITION DU XIII^e ARRONDISSEMENT DE PARIS DONT L'OUVERTURE A EU LIEU DERNIÈREMENT APRÈS 26 MOIS DE TRAVAUX. LE BIM, ET EN PARTICULIER LA PLANIFICATION 4D, A SU SE METTRE AU SERVICE DE CE PROJET ICONIQUE ET APPORTER DES SOLUTIONS APPROPRIÉES AU PILOTAGE.

ÉMERGENCE D'UN BESOIN NOUVEAU POUR LE PILOTAGE

STATION F : PROJET À LA COMPLEXITÉ EMBLÉMATIQUE

Techniquement complexe et hyper-contrainte, la réhabilitation de la Halle Freyssinet est l'archétype de la mission où l'OPC et le MOEx sont amenés à dépasser leurs certitudes et imaginer des processus nouveaux à même de surmonter les difficultés du projet.

Conçue par Eugène Freyssinet en 1927 et classée monument historique depuis 2012, cette plate-forme logistique SNCF est un ouvrage exceptionnel : trois nefs recouvertes de voûtes en béton d'une portée de 20 à 30 m et d'une épaisseur de 5 à 8 cm seulement maintenues par des tirants, également en béton, d'une extrême finesse.

Le projet architectural de l'agence Wilmotte & Associés (figure 1) vise à

modifier profondément l'usage du lieu pour accueillir 1000 start-ups et leurs fonctions annexes dans un lieu autrefois industriel. L'intervention architecturale commence par une réfection de la coque existante : curage, désamian-

tage (figure 2), réfection du béton des voûtes, pose de nouvelles menuiseries et étanchéité (figure 3). L'intervention se prolonge, au sein de la coque existante, par l'excavation de niveaux techniques et d'un auditorium en infrastructure

(figure 4) et par la création de plateaux de bureaux sur charpente métallique en superstructure. L'ensemble du projet nécessite donc le recours à une palette de méthodologies hétéroclites, parfois inédites : voiles par passes pour



© WILLIAM BAYOL

1- Perspective du projet Station F extérieur et intérieur.

2- Poste de désamiantage en sous-face de la voûte.

1- Perspective view of the Station F project, exterior and interior.

2- Asbestos stripping station on the underside of the roof.



© WILLIAM BAYOL
3

la galerie technique, parois moulées pour l'auditorium, moilage de poutres métalliques sur poteaux en béton existants pour la superstructure, reprise en sous-œuvre pour le renforcement de la structure existante, confinement en sous-face de l'arche pour le désamiantage, cryogénie pour la réfection des bétons...

La réhabilitation de la Halle Freyssinet s'inscrit également dans une importante transformation urbaine du quartier Tolbiac dans le XIII^e arrondissement de Paris. Accès des engins par un axe fréquenté de la capitale, travaux de couverture des voies SNCF le long de l'aile Est, construction d'un ouvrage souterrain à la pointe Sud et aménagement des espaces publics en périphérie immédiate de la halle sont autant de composantes périlleuses à prendre en compte dans le phasage et d'interlocuteurs d'horizons divers à gérer.

Projet phare d'un investisseur médiatique : Xavier Niel, Station F a attiré les projecteurs y compris pendant la période d'exécution des travaux. Cette exposition inhabituelle, doublée d'enjeux financiers importants a contraint les équipes à s'adapter aux exigences de communication de l'investisseur, par exemple lors de conférences de presse sur le chantier, et à respecter des délais d'études et d'exécution très courts ne laissant pas de place à l'erreur.

COMMUNICATION AUTOUR DU PLANNING CHEMIN DE FER

Cicad, OPC et MOEx sur l'opération, coordonnait plus de 23 entreprises sur ce chantier en corps d'états séparés. À la lumière des contraintes techniques, économiques et calendaires, le recours à une planification chemin de fer rythmée le long des 30 travées s'est imposé comme un moyen sûr et fiable de mener à bien le projet. Les premiers travaux (désamiantage) sont initiés dans

3- Voûte de l'ingénieur Freyssinet remise à neuf.

4- Travaux de génie civil de la galerie technique en infrastructure.

3- Engineer Freyssinet's roof renovated.

4- Civil engineering work on the pipe gallery infrastructure.

une travée. Une fois terminés, le dispositif ripe vers la travée suivante puis la seconde tâche peut commencer dans la première travée. Parallèlement, les tâches plus « mobiles » (ie. ne nécessitant pas d'installations de chantier

lourdes) et les travaux d'infrastructures, démarrent dans les zones de la halle laissées vacantes.

Le déclenchement simultané de plusieurs travaux de natures diverses, dans le respect des règles de sécurité et sans superposition dangereuse de tâches, a permis de tenir les délais demandés par le maître d'ouvrage.

Un des succès de la mission d'OPC a dès lors reposé sur la capacité à fédérer tous les acteurs autour de cette planification.

Il était donc nécessaire de faire émerger les informations importantes (dates objectifs, jalons de mise à disposition, contraintes de sécurité...) induites par la planification « chemin de fer », qui ne sont pas forcément immédiates à déceler dans le format GANTT du planning. Mais il était également important de faire de la pédagogie aux entreprises sur les conséquences liées à un non-respect de délais afin de les responsa-

biliser et les inciter à respecter méticuleusement l'ordonnancement établi. On cherchait un support de communication universel permettant plusieurs niveaux de lecture et d'analyse, afin d'être compris par tous, sachants comme non-sachants, concepteurs comme constructeurs.

LA PLANIFICATION 4D : SOLUTION BIM POUR LE PILOTAGE

S'appuyant sur le travail en environnement BIM produit par la cellule de synthèse, Cicad a fait le choix d'expérimenter un OPC 2.0, en choisissant la planification 4D comme support de pilotage. L'objectif était de discerner ce que cette méthodologie nouvelle peut apporter au projet et aux missions de chacun sans ajouter une couche de complexité supplémentaire.

Le planning est une description quasi-exhaustive de l'enclenchement des tâches du projet, qui apparaît comme un outil d'initié, parfois complexe à parcourir et à analyser. Le carnet de phasage vient illustrer ce planning en déterminant plusieurs phases cohérentes du projet. Le lien unidirectionnel du planning vers le carnet de phasage rend la mise à jour de cet outil fastidieuse, donc aléatoire, ce qui génère des difficultés dans la gestion quotidienne du projet.

La planification 4D crée un lien bidirectionnel entre le planning et son vecteur de communication (figure 5) : une liaison dynamique entre un (ou plusieurs) planning(s) et une (ou plusieurs) maquette(s) numérique(s) du bâtiment, qui évolue automatiquement avec les mises à jour de planning et de maquettes. On visualise dynamiquement les éléments de construction des maquettes numériques du projet soumis aux actions des tâches décrites par le planning.



4
© WILLIAM BAYOL

La visualisation 3D dynamique est un outil de vulgarisation très puissant, facile à maintenir à jour et qui se substitue au carnet de phasage dans de nombreuses situations.

Le recours au processus 4D a permis au manager de projet de limiter l'investissement sur des efforts répétitifs et de les reporter sur des tâches à plus forte valeur ajoutée : analyse des impacts des modifications, anticipation et résolution des situations de dérives ou de conflits

DÉPLOIEMENT DE LA MÉTHODOLOGIE 4D SUR LE CHANTIER

Pour susciter l'adhésion des acteurs du chantier, autour de la planification 4D il convenait de créer une méthodologie qui rendait le processus fiable, efficace et à moindre effort pour les tiers impliqués. Un collaborateur Cicad, spécialiste des problématiques BIM, a donc développé une codification portant sur les tâches des plannings et sur les objets des maquettes du projet, inspiré par le modèle anglo-saxon.

5- Mutation d'une manière de faire : du carnet de phasage à la cinématique.

6- Immersion dynamique à un jalon clé de co-activité désamiantage charpente métallique.

7- Simulation 4D de la méthodologie de pose des verrières par grues à tours en interface avec les autres travaux d'enveloppe.

5- Change of approach: from the scheduling note book to kinematic drawings.

6- Dynamic immersion at a key milestone of steel structure asbestos stripping co-activity.

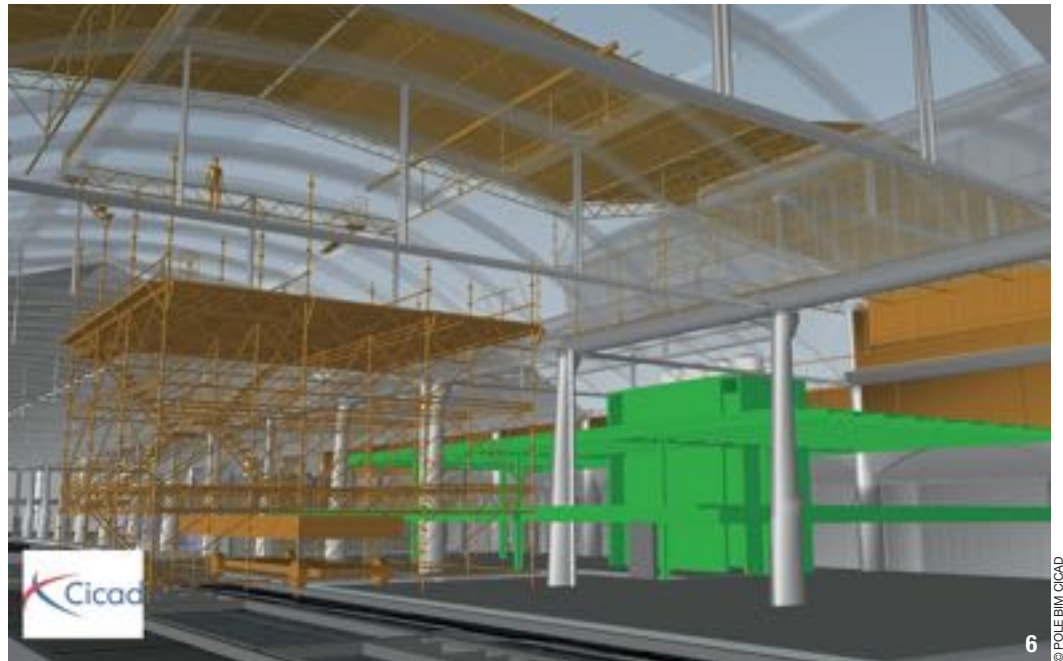
7- 4D simulation of the methodology for fitting glass roofs with tower cranes interfacing with the other casing works.

MUTATION D'UNE MANIÈRE DE FAIRE : DU CARNET DE PHASAGE À LA CINÉMATIQUE



5

© POLE BIM CICAD



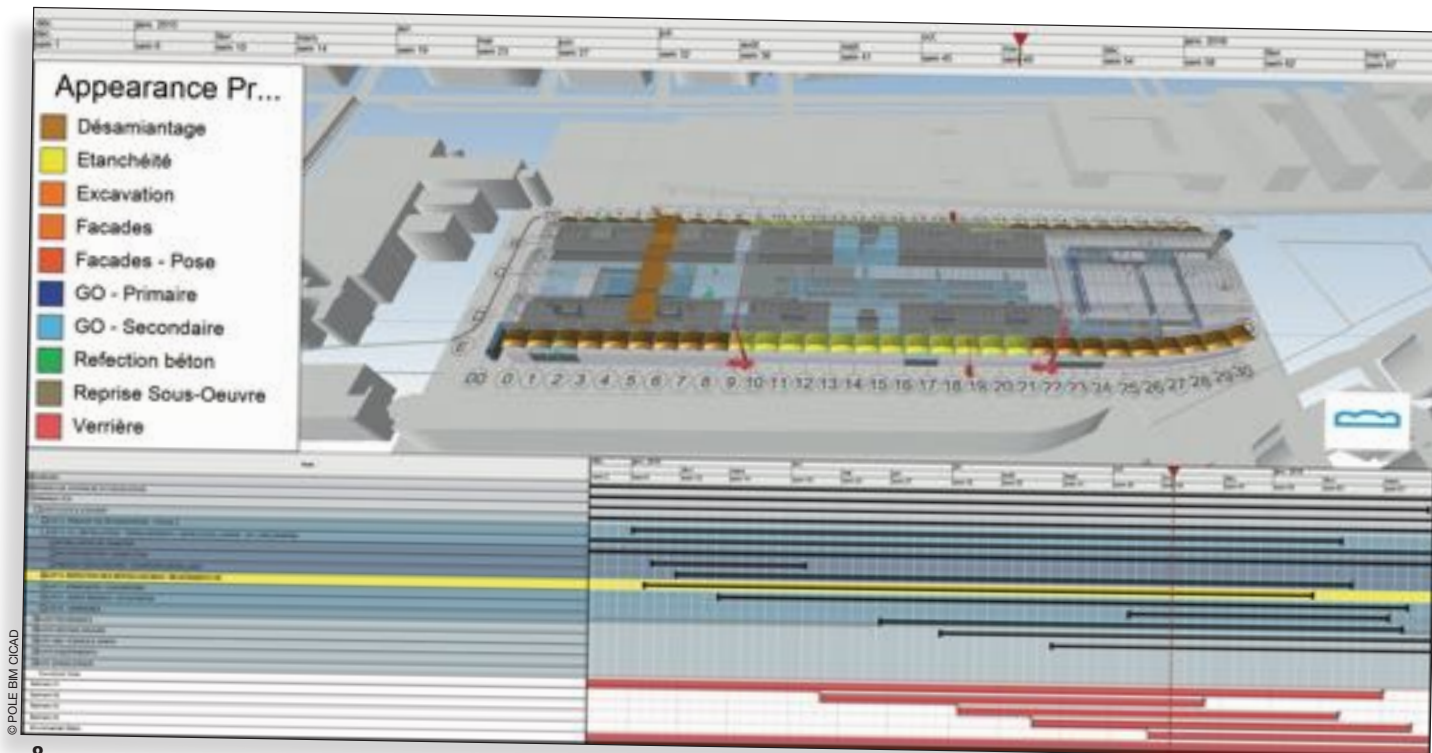
6

© POLE BIM CICAD

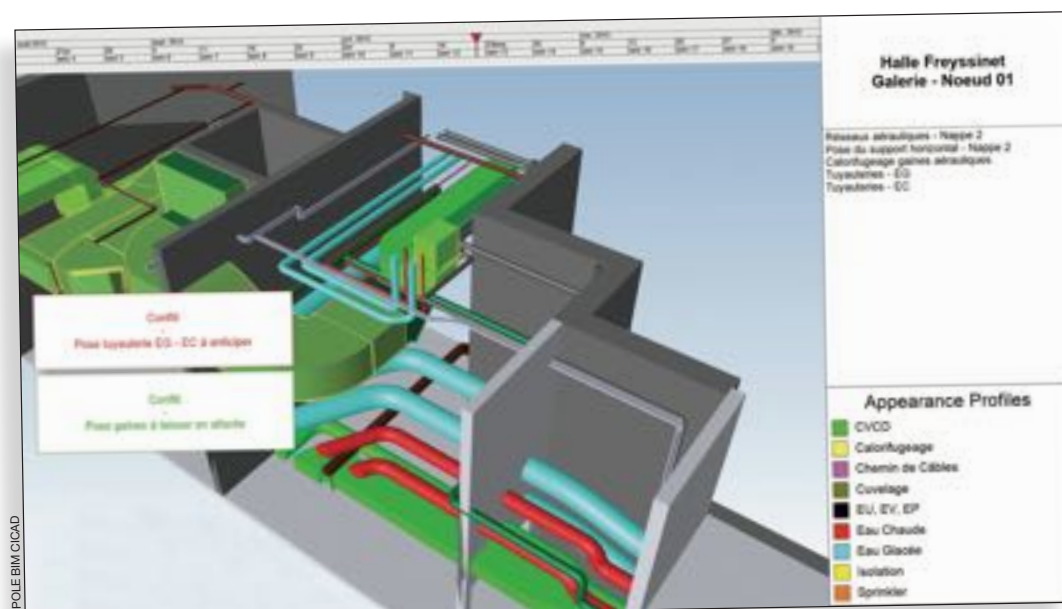


7

© POLE BIM CICAD



8



9

Le renseignement de ces paramètres permet un filtrage efficace des tâches et des objets dans la plateforme de planification 4D qui facilite le travail de liaison tâches-objets. Lorsque le nombre d'objets et de tâches reste limité, il devient possible d'automatiser la création du lien objets-tâches.

L'utilisation de ces paramètres permet d'asservir partiellement ou totalement les objets de la maquette aux tâches du planning. L'équipe disposait donc quasiment immédiatement d'une visualisation 4D du dernier indice du planning.

Le collaborateur du pôle BIM a rejoint l'équipe opérationnelle sur le chantier afin de superviser le déploiement de la méthode. Celui-ci a, dans un premier temps, produit les livrables nécessaires au pilotage, tout en accompagnant le pilote de chantier vers une autonomie progressive dans l'utilisation des maquettes et de la planification 4D.

8- Visualisation 4D du planning chemin de fer de l'intégralité de l'opération.

9- Cinématique 4D de pilotage de la mise en œuvre des corps d'états techniques dans la galerie technique.

8- 4D view of the thumbnail schedule for the entire operation.

9- 4D kinematic drawing to guide the work of technical trades in the pipe gallery.

PÉDAGOGIE AUTOUR DU PLANNING TRAVAUX DE L'OPÉRATION

La préparation du chantier, c'est-à-dire la réflexion indispensable de la planification des travaux et de l'organisation du chantier, s'est trouvée contrainte par les délais d'études extrêmement réduits imposés pour respecter le calendrier global et l'objectif d'ouverture du projet. De plus, la solution retenue du planning « chemin de fer » était remise en cause sur sa faisabilité : comment garantir la non-superposition des postes de travail entre les travaux d'infrastructure et de désamiantage ? Comment gérer la co-activité entre différentes entreprises dans une même travée ? Quelles étaient les contraintes induites par le démarrage des travaux de charpente métallique dans des travées où le désamiantage n'avait pas encore été réalisé sur la voûte en aplomb (figure 6) ? Comment réaliser les locaux techniques déportés sans perturber le ripage des postes de désamiantage ? Quelle emprise précaire était nécessaire pour l'amenée-repli des grues mobiles de pose des menuiseries des différentes nefs (figure 7) ?

Il existait donc une réelle pédagogie à faire autour de la préparation du chantier.

Cicad a choisi de réaliser, en complément du travail effectué pendant les études du projet, un prototype virtuel du chantier (figure 8). L'exercice nécessite une modélisation intelligente des installations de chantier ; un soin particulier doit être apporté à l'encadrement de ces installations. La réalisation de ce prototype interroge également l'espace nécessaire pour l'installation, les déplacements éventuels et la dépose de ces installations de chantier.

Tout laisse à penser que dans un avenir où le processus BIM deviendrait la norme, la planification 4D sera une composante essentielle de la mission de coordination générale et de maîtrise du projet. La planification 4D offre aujourd'hui aux collaborateurs une opportunité concrète et en lien direct avec leurs activités quotidiennes sur le chantier, de s'immerger dans ce nouvel environnement.

UTILISATION SUR CHANTIER ET PERSPECTIVES FUTURES

Trois typologies d'utilisation ont été identifiées pendant le chantier de la Halle Freyssinet :

- Simulation 4D du phasage général des travaux ;
- Planification 4D des phasages des travaux spécifiques ;
- Communication 4D des interfaces chantier aux tiers concernés.

L'utilisation de ce prototype s'est révélée déterminante dans l'affinage du scénario par l'équipe opérationnelle puis dans la démonstration de la faisabilité et de la pertinence de l'option retenue aux entreprises sélectionnées, à l'aménageur, au client et aux organismes de sécurité. Le pilote a pu s'appuyer sur plusieurs niveaux de visualisation : une vision générale à la semaine de l'intégralité du chantier et la possibilité de ralentir le pas de visualisation à la journée pour certains moments clés du projet.

ACTIONS DE PILOTAGE DE TRAVAUX SPÉCIFIQUES

Une phase complexe du chantier de la Halle Freyssinet était la mise en œuvre des corps d'états techniques dans la galerie souterraine (figure 9). Colonne vertébrale de 300 m de long et 6 m de haut, celle-ci innerve le bâtiment, latéralement vers les locaux techniques déportés et l'auditorium, et verticalement vers les différents « villages » de start-up.

Cette zone a fait l'objet d'un planning spécifique, à même de décrire l'ordonnancement général d'intervention



10 © WILLIAM BAYOL

10- Pose des nouvelles verrières à l'aide d'une grue mobile.

11- Assemblage du prototype virtuel dynamique du chantier (4D) avec les plans de phasage de l'aménageur.

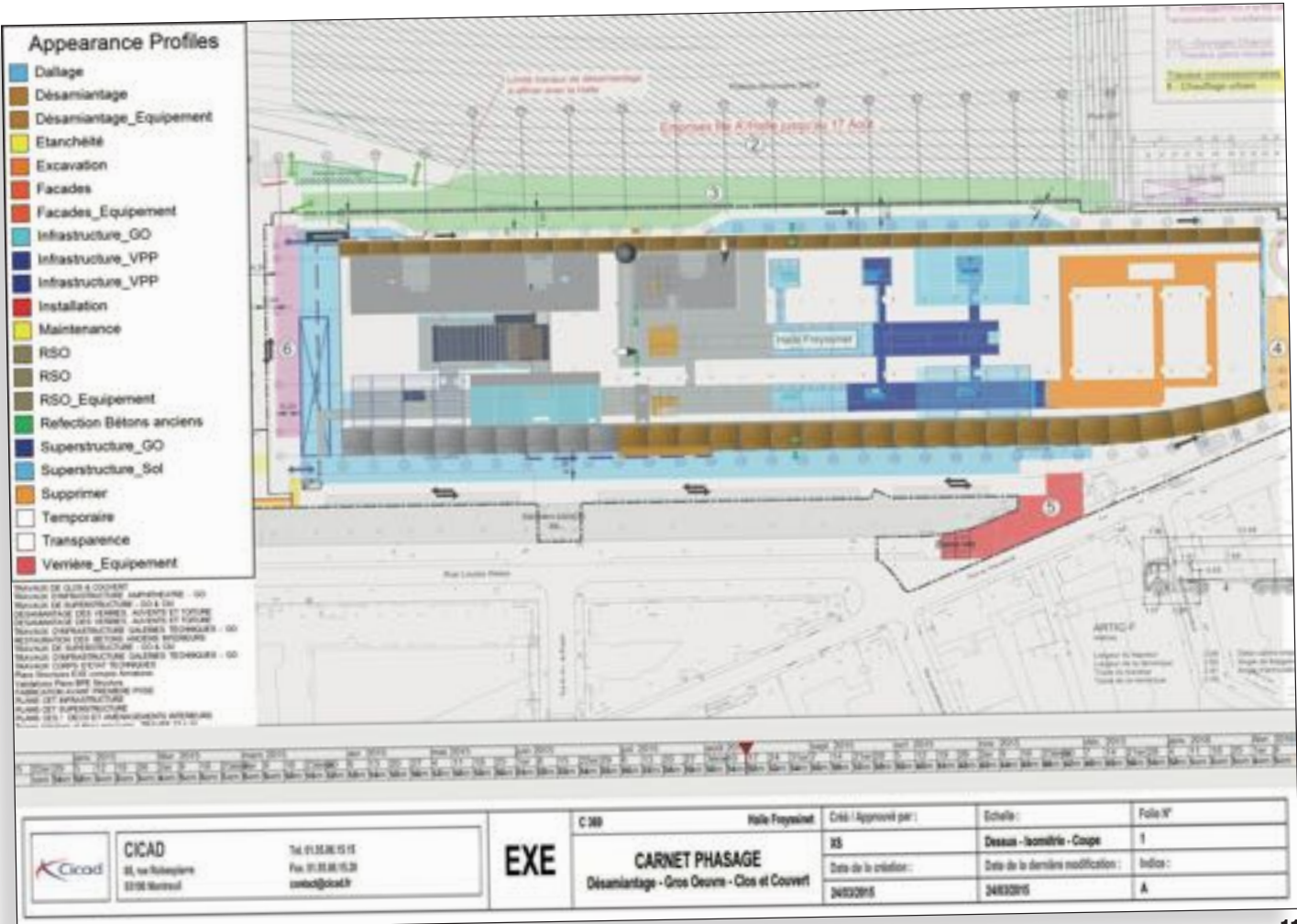
10- Placing the new glass roofs with a mobile crane.

11- Assembly of the dynamic virtual prototype of the project (4D) with the scheduling plans of the developer.

des entreprises : cuvelage, sprinklage, plomberie, CVC, chemins de câbles... Néanmoins, chaque innervation, verticale ou horizontale, génère une singularité que le planning ne peut décrire, à moins d'établir spécifiquement un planning pour chacune d'entre elle.

En découlaient, un risque de désaccord d'une ou plusieurs entreprises et de préjudices financiers en conséquence. La réalisation d'une planification 4D, en amont du démarrage des travaux, a permis d'établir et consolider un planning spécifique dans les zones

courantes de la galerie technique, en analysant les vides de planification et de conception, comme par exemple, la prise en compte de la mise en œuvre de supportages. Ensuite, la visualisation 4D au niveau des singularités, pendant les premières réunions de pilotage avec



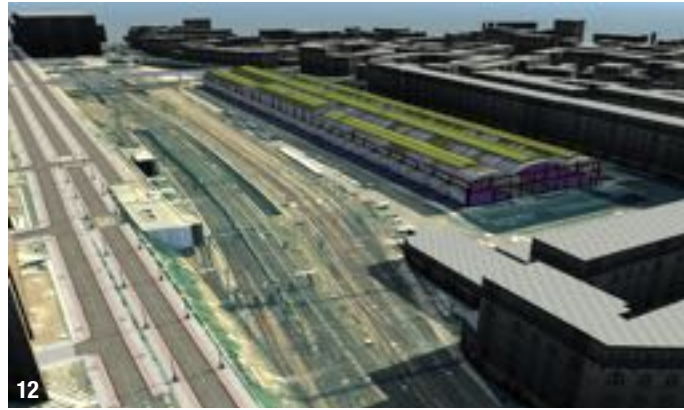
les entreprises, a permis de déminer certains conflits d'ordonnancement que le planning n'avait pas pu configurer complètement : gestion des deux niveaux des nappes de sprinklage, séquençage de la pose des gaines CVC, anticipation de la pose de certains réseaux en sous-face de dalles.

COMMUNICATION AUX TIERS SUR LES INTERFACES DE CHANTIER

Une coordination étroite avec l'aménageur et les tiers impactés par le projet était un enjeu déterminant du chantier puisque la limite de propriété du bâtiment se limite à l'aplomb des auvents et que l'accès au chantier ne pouvait se faire qu'en traversant des zones hors périmètre foncier.

La Semapa, aménageur de la ZAC Paris Rive Gauche, conduit actuellement plusieurs opérations en interaction directe avec le chantier de la Halle Freyssinet. La construction d'un ovoïde enfoui en périphérie de la halle nécessite une coordination bimensuelle avec l'aménageur sur la mutualisation ou le dévoiement des voiries de chantier et sur la position des clôtures délimitant les emprises de chantier. La pose des verrières de toitures nécessite l'amenée et le repli de grues mobiles sur les flancs de la halle (figure 10).

Cela implique, d'un côté, de convenir d'une emprise spécifique exceptionnelle avec l'aménageur, à proximité des voies SNCF et des travaux de couverture des voies ferrés du faisceau Austerlitz et, de l'autre, de définir précisément les emplacements de stockage de chaque entreprise dans la maigre bande de terrain mise à disposition par l'aménageur. Enfin, la livraison du projet s'accompagne nécessairement de la réalisation des VRD périphériques, qui nécessite un phasage particulier de la pose des menuiseries de façades et des accès pour la livraison du second œuvre.



12 © POLE BIM CICAD

La combinaison d'outils d'univers divers (CAD, BIM et SIG) comme Autocad pour intégrer les méthodologies d'intervention des entreprises (figure 11), Revit pour la modélisation fidèles de l'environnement immédiat (une dizaine de mètres autour de la Halle) et Infracad pour la modélisation grande maille des environs du projet (plus ou moins 500 m) à partir de données mises à disposition par la ville a permis de disposer du bon outil de représentation et de s'adapter aux exigences de l'interlocuteur concerné. La planification 4D permet, par exemple, la superposition dynamique des plans DWG de phasage du pilote de la ZAC et de la position des grues mobiles modélisées dans les installations de chantier.

À plus grande échelle, l'intégration des données SIG permet de réaliser une animation de présentation des interfaces du chantier à destination des riverains et des entreprises arrivant sur le projet.

UTILISATIONS FUTURES ET PERSPECTIVES PROMETTEUSES

La réussite de l'opération de la Halle Freyssinet a conduit d'autres donneurs d'ordre à vouloir mettre en œuvre ce type de pilotage. Le secteur hospitalier,

12- Prototype virtuel du chantier inséré dans un contexte de données SIG.

12- Virtual prototype of the project inserted in a GIS data context.

ainsi que ceux de l'infrastructure et de l'enseignement public, particulièrement exposés aux aléas, apprécient cette compétence à même d'établir les supports de communication et de compréhension du projet, et donc de sécuriser le volet préparation puis suivi du chantier.

La planification 4D constitue un trait d'union entre l'outil de conception du MOE et l'outil d'exécution de l'OPC. La planification 4D devient une manifestation concrète de la mise en commun de savoir-faire complémentaires autour d'un objet unique.

La planification 4D peut être perçue comme la première étape vers une gestion de projet qui, progressivement, gravitera autour de la maquette numérique. Les habitudes changent : embarquer le projet sur le chantier via une tablette est déjà une réalité, s'immerger sur site dans des phases ultérieures du chantier via une planification 4D embarquée sur des lunettes de réalité augmentée est à portée de main. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

ANNÉE DE LA CONSTRUCTION DE LA HALLE : 1927-1929

SURFACE DÉDIÉE AUX START-UP : 30 000 m²

DIMENSIONS DE LA GALERIE TECHNIQUE : 300 m de longueur

DURÉE DES TRAVAUX : 2014-2017

COÛT DES TRAVAUX : 100 M€

NOMBRE D'ENTREPRISES INVESTIES SUR LE PROJET : 23 entreprises

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Sdecn - Redman (AMO)

ARCHITECTE : Wilmotte & Associés

MAÎTRE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION ET OPC : Cicad

SYNTHÈSE : Batir Synthèse

AMÉNAGEUR : Semapa

ABSTRACT

OPC 2.0: 4D MANAGEMENT OF RENOVATION WORKS FOR HALLE FREYSSINET

XAVIER SEGUIN, CICAD - DAVID CHAMBRE, CICAD

The former logistic platform of Halle Freyssinet, listed as an historical monument, is becoming the biggest start-up incubator in France. Given the project's technical complexity and deadline constraints, BIM, and more specifically 4D planning, i.e. dynamic linking between schedule tasks and model objects, was used for operational management of the project. This change of paradigm required a reorganisation of methodologies around the production of a virtual prototype of the project. This prototype, intelligently modelled and assembled, proved capable of acting as a medium for analysis and communication, for preparation of the project and for management during project execution. □

OPC 2.0: PLANIFICACIÓN EN 4D DE LAS OBRAS DE REHABILITACIÓN DE LA HALLE FREYSSINET

XAVIER SEGUIN, CICAD - DAVID CHAMBRE, CICAD

La antigua plataforma logística de la Halle Freyssinet, clasificada como monumento histórico, se ha convertido en la mayor incubadora de start-ups de Francia. La complejidad técnica y el calendario del proyecto han llevado a la utilización del BIM, y en especial la planificación en 4D, es decir, el enlace entre tareas de planificación y objetos de las maquetas para la gestión operativa de la obra. Este cambio de paradigma ha obligado a recomponer las metodologías en torno a un prototipo de obra virtual, inteligentemente modelizado y ensamblado, que ha demostrado su utilidad como soporte de análisis y comunicación para la preparación de la obra y la gestión de su ejecución. □

« BIM-TO-SITE » : LE BIM AU CŒUR DE L'ACTE DE CONSTRUIRE - APPLICATION POUR LE PROJET ARCHADE AU CENTRE CYCLHAD À CAEN

AUTEURS : DANIEL FOISSAC, DIRECTEUR BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES ENGINEERING, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - CHRISTOPHE QUARDEL, DIRECTEUR RÉGIONAL, VINCI CONSTRUCTION FRANCE, DIRECTION DÉLÉGUÉE NORMANDIE CENTRE PETITE-COURONNE - DONATIEN FAVREAU, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOGEA NORD-OUEST, AGENCE DE CAEN - FRANÇOIS CUSSIGH, DIRECTEUR ADJOINT MATÉRIAUX, EXPERT BÉTON, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - FRANCK DUBOIS, DIRECTEUR TECHNIQUE DU BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES ENGINEERING, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

HÉROUVILLE-SAINT-CLAIR EST UNE PROCHE BANLIEUE DE CAEN OÙ SE CONSTRUIT, DEPUIS DÉCEMBRE 2015, LE BÂTIMENT « CYCLHAD », FUTUR CENTRE DE RECHERCHE ET DE TRAITEMENT DU CANCER PAR HADRONTHÉRAPIE. CONCEVOIR, CONSTRUIRE PUIS EXPLOITER L'OUVRAGE QUI ACCUEILLERA À TERME DEUX ACCÉLÉRATEURS DE PARTICULES DE DERNIÈRE GÉNÉRATION, EST UN DÉFI AUQUEL LES MULTIPLES ACTEURS DU PROJET ONT RÉPONDU EN DÉVELOPPANT ET UTILISANT UN BIM, DES PREMIERS INSTANTS DE LA CONCEPTION JUSQU'À LA TRANSITION VERS L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE, EN PASSANT PAR SON USAGE AU CŒUR DU CHANTIER.



HADRONTHÉRAPIE, PROGRAMME ARCHADE ET CENTRE CYCLHAD

« Hadronthérapie ». Si ce mot ne reste encore intelligible qu'aux seuls initiés, il n'en suscite pas moins l'intérêt du corps médical et scientifique. Il fait en effet référence à un nouveau type de

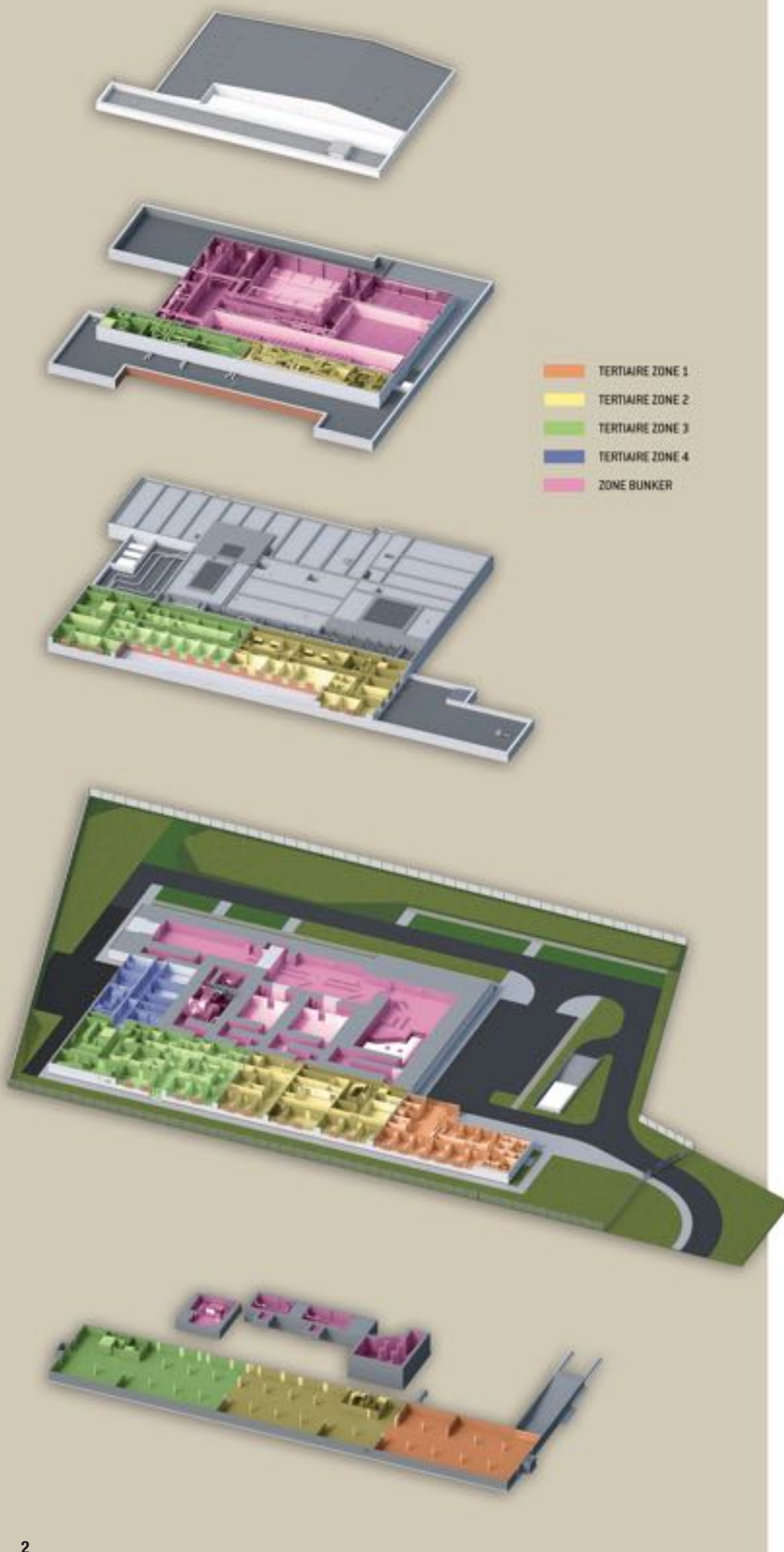
radiothérapie fondé sur l'irradiation des tumeurs par un faisceau de particules à haute énergie appelées « hadrons ». Cette thérapie, porteuse de nombreuses promesses, est au cœur du programme ARCHADE (Advanced Resource Center for Hadrontherapy in Europe), programme européen de grande enver-

1- Vue de la salle de traitement du ProteusOne.

1- View of the ProteusOne treatment room.

sure matérialisé par la construction du centre CYCLHAD à Caen.

Le centre accueillera à terme deux accélérateurs de particules : le ProteusOne®, accélérateur compact de protons, produit par la société IBA et installé depuis mars 2017 dans le bâtiment ; et le C400, accélérateur



2- Vue éclatée du bâtiment Cyclhad.

2- Exploded view of the Cyclhad building.

prototype dédié principalement à la recherche et au traitement par ions carbone, qui sera installé à l'horizon 2022 au cœur du centre et fera de lui une première mondiale (figure 1).

C'est dans cet environnement scientifique et industriel de pointe que s'inscrit l'action de Vinci Construction France, mandataire du groupement titulaire du marché de conception, réalisation et maintenance du centre, marché entré en vigueur en janvier 2015.

C'est en outre cet environnement soumis à de nombreuses contraintes qui a poussé les équipes d'étude, de travaux et de maintenance à adopter une démarche que nous appellerons « BIM-to-SITE », démarche digitale globale et intégrée visant l'amélioration de la performance du chantier du point de vue de la qualité de réalisation, de la productivité et de la sécurité des collaborateurs.

Mais avant d'évoquer plus en détail l'aspect « digital » du projet ARCADE, intéressons-nous de plus près à l'ouvrage, qui, malgré son aspect monolithique, ne manque pas de subtilités techniques.

UN OUVRAGE COMPLEXE SOUMIS À DE MULTIPLES CONTRAINTES

LE BÂTIMENT CYCLHAD

Le bâtiment est composé, sur quatre niveaux de planchers, de deux ouvrages structurellement indépendants en dilatation l'un par rapport à l'autre : un bâtiment de type tertiaire et une casemate de béton soumise aux contraintes de radioprotection et à celles liées au process que nous appellerons par la suite « Bunker » (figure 2).

Le bâtiment Bunker est une « boîte » de 74 m de long sur 40 m de large et de 8,70 m de hauteur.

Il est constitué principalement par :

- Un radier de 1,125 m d'épaisseur.
- Des murs sandwichs d'épaisseur maximale 7,20 m, constitués par des voiles latéraux structurels, d'épaisseur 45 cm, entre lesquels est coulé un béton de remplissage, l'ensemble assurant l'exigence massive nécessaire pour la radioprotection.



3

© SOGEA NORD-OUEST

- Une dalle supérieure d'épaisseur maximale 4,75 m constituée par deux dalles résistantes de 50 cm entre lesquelles se trouve un béton de remplissage.
- Des voiles entièrement en béton de 2 m d'épaisseur (chicanes), encadrant les zones de circulation.
- Des fosses dont la plus haute a une hauteur de 5,35 m.
- Des murs fusibles, soit en prévision de l'amenée future du prototype et des équipements associés, soit pour la création d'une nouvelle salle de recherche en extrémité de ligne faisceau. Ces murs sont réalisés en parpaings de béton plein avec pose a joints alternés (figures 3 et 4).

En bref, cette partie d'ouvrage n'a pas usurpé son appellation de « Bunker », ce qui ne sera pas non plus remis en cause par les 20 000 m³ de béton qui ont été nécessaires à sa réalisation.

GÉRER LA RADIOPROTECTION

L'enjeu pour ce type de bâtiment comportant des dalles et voiles de forte épaisseur, et a fortiori pour ceux soumis aux contraintes de radioprotection, consiste à maîtriser les risques de fissuration. Nous avons pour cela étudié des formulations spécifiques de béton, d'une part, et mis en place des ferrailages répartissant les fissurations selon les « recommandations pour la maîtrise des phénomènes de fissuration » CEOS.FR (IREX 2015), d'autre part. Les bétons C30/37 utilisés ont été spécifiés avec une exigence d'élévation de température inférieure à

40°C pour les voiles (épaisseur 2 m) et 35°C pour le radier (épaisseur 1,12 m). Pour satisfaire ces spécifications, un ciment à exothermie modérée (CEM I 52,5 N SR3 avec une chaleur d'hydratation à 41 h de 275 J/g) a été choisi et son dosage a été minimisé (300 kg/m³ au plus, avec ajout complémentaire de filler calcaire le cas échéant) grâce à l'incorporation de super-plastifiant permettant une forte réduction d'eau. Des mesures de dégagement de chaleur sur Mortier de Béton Équivalent (MBE) et sur bloc isolé instrumenté, réalisées lors des

3- Le chantier en fin de phase de réalisation de l'infrastructure.

4- Les poutres-voiles et alvéoles du plancher haut du Bunker.

3- The construction site at the end of the infrastructure work phase.

4- The wall beams and compartments of the floor above the bunker.

épreuves d'étude et de convenance, ont permis de vérifier l'efficacité de ces dispositions. Des mesures systématiques de température au cœur des pièces massives ont été effectuées en cours de production afin de vérifier les estimations réalisées en phase de préparation de chantier. En outre, le retrait de dessiccation a été contrôlé (mesures totales de retrait incluant le retrait de dessiccation et le retrait endogène) sur prismes 10 cm x 10 cm x 40 cm conservés à 20°C et 50% H.R : les valeurs obtenues sont inférieures à 450 µm/m.



4

© SOGEA NORD-OUEST

Les armatures ont été dimensionnées afin de répartir les fissurations générées par les retraits thermiques différentiels apparaissant entre les voiles et les dalles. Nous avons, d'une part, mis en œuvre les ferrillages minimum préconisés par les recommandations CEOS.FR pour les éléments entièrement bridés et, d'autre part, réalisé un calcul spécifique au moyen d'une modélisation aux éléments finis (logiciel Sofistik) du Bunker soumis aux effets du retrait et dont les inerties fissurées des éléments sont déterminées directement par le logiciel à partir du ferrillage minimal mis en place et des lois des matériaux (calcul non linéaire). Les formulations des bétons mises en œuvre, associées au dimensionnement des armatures intégrant la prise en compte des contraintes liées au retrait thermique ont permis une maîtrise de la fissuration conforme aux attentes : 0,4 mm pour les bétons XC1 et 0,3 mm pour les bétons XC2, conformément aux préconisations de l'EN 1992-1-1 au chapitre 7.3.1.

En outre, pour les voiles et planchers de forte épaisseur, tant pour les bétons de structure que de remplissage, il a été réalisé des arrêts de bétonnage en chicane (redans) afin de réduire les fuites de radiation. Afin de déterminer au mieux les détails à respecter, les services de Millenium, ingénierie spécialisée dans la radioprotection, ont été sollicités.

GÉRER LES CONTRAINTES LIÉES AU PROCESS

En dehors des contraintes structurelles et dimensionnelles imposées par la radioprotection, la présence d'accélérateurs et de leurs « lignes faisceaux » dédiées induit des exigences de deux



© SOGEA NORD-OUEST

5- Fin du terrassement - Début de la réalisation des fondations.
6- Vue en coupe du modèle TCE en phase EXE.

5- End of earth-works - Start of work on the foundations.

6- Cross-section view of the TCE (all trades) model in execution phase.

types : un maillage dense de réseaux incorporés dans les structures, et un tassement différentiel en tout point de l'ouvrage quasi-nul.

Ne pouvant cheminer dans de classiques réservations, l'ensemble des réseaux mis en place dans le Bunker a été incorporé dans les voiles, planchers et radiers, et soumis au principe de chicane afin de limiter les fuites

de radiation. Les réseaux suscités étaient de natures multiples : fourreaux Cfa/Cfo, gaines de ventilation, réseaux d'eau glacée, réseaux de drainage des eaux usées. Ils étaient soumis à diverses contraintes techniques (courbure, diamètre, principe de chicane, point d'entrée, de sortie, interférence avec le ferrillage parfois dense), pour un linéaire cumulé de 3 km.

Résoudre la délicate équation de la conception de ces réseaux et de leur mise en place conforme et sans réserve lors des différentes phases du chantier fut un enjeu majeur qui, nous le verrons, a été traité avec succès à l'aide du BIM du projet.

Autre enjeu stratégique : la maîtrise des tassements du Bunker. En particulier, la contrainte imposée par le process est un tassement différentiel du bâtiment le long de la ligne faisceau la plus longue (100 m), une fois les équipements installés, de 3 mm.

Une série d'études et de relevés géotechniques a donc été menée pour maîtriser les tassements.

Dans un premier temps, des prélèvements et sondages ont permis d'identifier la nature des couches de sol et leurs caractéristiques (analyse des données géophysiques disponibles, prélèvements de carottes, prospection par microgravimétrie, ...). Les conclusions furent rassurantes : fort éloignement de la nappe, absence de vides karstiques, et toit du calcaire sain situé entre -4,50 m et -6,50 m.

Si cette analyse n'a pas remis en cause le mode de fondation du bâtiment « tertiaire », soit une succession de semelles filantes et isolées ancrées dans le calcaire altéré, elle a bien orienté celui du bâtiment Bunker en imposant que son radier d'altimétrie et épaisseur variables soit ancré dans le calcaire sain. Cette contrainte a induit le déblai de 15 000 m³ de terre (limons et calcaire altéré notamment) et le remblai d'une partie de ce volume par des limons précédemment excavés traités à la chaux et au ciment (figure 5).

Une fois le principe de descente des charges jusqu'au calcaire sain adopté, il fut nécessaire de le valider par un calcul aux éléments finis itératif, objet d'un échange entre le bureau d'études géotechniques fournissant les raideurs de sol et réalisant ses calculs grâce au logiciel Plaxis 3D, et le bureau d'études de structure fournissant les descentes de charges et réalisant ses calculs sous Sofistik. La convergence des deux modèles a permis de valider le respect de la contrainte de tassement, ainsi que la portance des remblais en limons traités. Ces deux points ont enfin été suivis lors de la réalisation par des essais divers (à la plaque, au gammadensimètre), et par un monitoring précis des déformations une fois l'ouvrage réalisé. ▸



© FOUNDATION

Poursuivre la liste des contraintes liées à la conception, à la réalisation et à la maintenance du centre CYCLHAD serait certainement long, et ne fait pas l'objet du présent article. Mais notons tout de même qu'il apparaît clairement que l'enjeu principal du projet, identifié dès le lancement de la phase conception, était de maîtriser ces contraintes, afin qu'elles ne perturbent ni la qualité d'exécution, ni les conditions dans lesquels l'ouvrage serait réalisé, ni le délai, ni bien sûr le coût global de construction et de maintenance du bâtiment. La réponse qui fut apportée à cet enjeu, relativement innovante en janvier 2015 pour un projet de taille moyenne, fut la volonté forte de le piloter de A à Z grâce à une démarche collaborative gravitant autour d'un lieu unique et ouvert centralisant la donnée relative à l'ouvrage : le BIM. Voyons donc maintenant comment, d'une ambition théorique simple, a été menée la démarche pragmatique que nous appelons « BIM-to-SITE ».

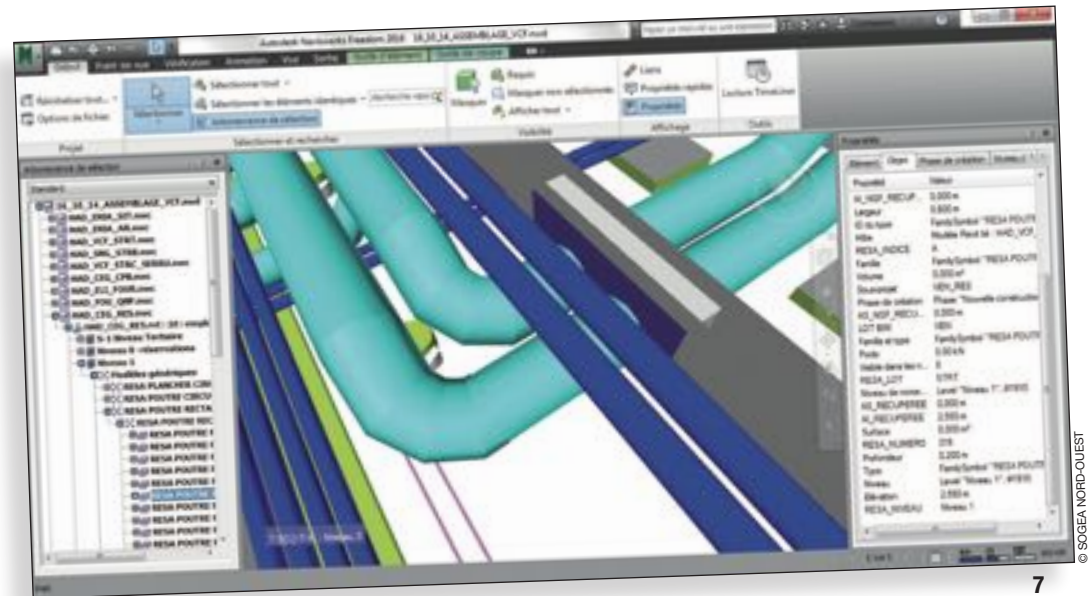
LE BIM AU CŒUR DU PROJET : UN VECTEUR D'AMÉLIORATION À TOUS NIVEAUX (figure 6)

UN BIM TCE DÈS LA CONCEPTION

C'est autour d'une table de réunion, le 12 janvier 2015, que l'ensemble des partenaires du groupement concepteur ont pris la décision commune de se lancer dans une démarche de conception en BIM TCE. L'objectif fixé à l'époque fut d'atteindre en fin de phase conception un développement du modèle de niveau 3 en géométrie, et de niveau 2 en donnée. Il fut en outre acté à l'époque la mise en place d'une « cellule de BIM-Management » composée d'un BIM Manager externe et d'un ingénieur travaux membre de l'équipe de conception. Notons ici l'efficacité de ce type d'organisation, qui mêle à la tête de la gestion du BIM du projet la pertinence et l'expérience d'un expert BIM, à la capacité d'arbitrage et au recul technique du mandataire du groupement.

Un mode collaboratif précis, décrit dans la charte BIM du projet fut également mis en place, ayant les caractéristiques suivantes :

- Logiciels de base : Revit 2015 (maquettes architecte, MEP, Structure Tertiaire, Structure Bunker, fourreaux et maquette « Quadrillage et Niveaux Partagés »), Tekla Structure (maquette charpente métallique), Navisworks Manage (Synthèse) et plus tardivement Covadis (maquette VRD).



© SOGEMA NORD-OUEST

→ Méthode de travail « hors ligne » sur des fichiers locaux par les BIM-modéler, synchronisés avec le fichier central vérifié par le BIM-coordonateur de chaque bureau d'étude, fichier central déposé à intervalles réguliers sur une plateforme d'échange en ligne (via le plugin e-Transmit pour les utilisateurs de Revit).

→ Des assemblages des différentes maquettes du modèle diffusés chaque semaine par le BIM-manager aux différentes parties prenantes extérieures (MOA, fournisseur du process, ...) au format .nwd.

→ Des réunions physiques quasi-hebdomadaires, de BIM-management puis de présynthèse.

Attardons-nous un instant sur ce dernier point : s'il pourrait sembler que le mode d'échange digital décrit ci-dessus permet d'éviter l'échange physique,

7- Exemple d'objet collaboratif : l'objet "réservations".

8- Intégration du process dans le modèle.

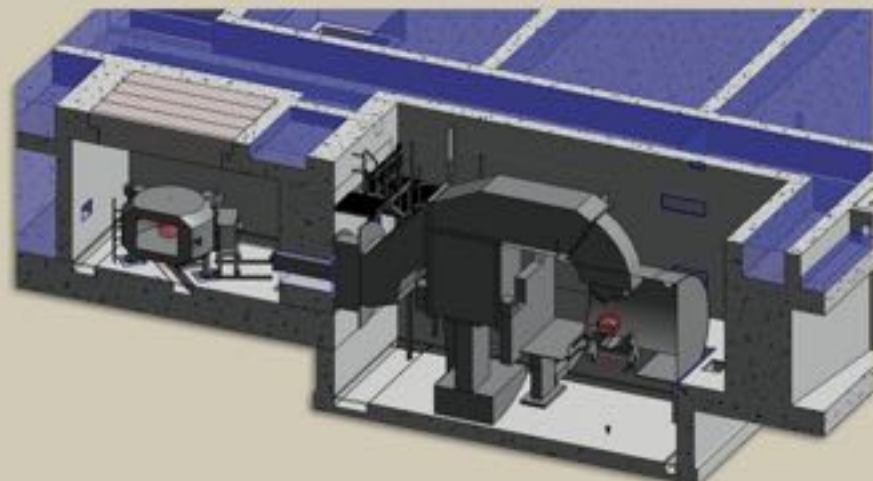
7- Example of a collaborative object: the "wall pockets" object.
8- Incorporation of the process in the model.

Elle est donc exigeante car elle met en évidence l'interdépendance des acteurs. Allons plus loin : le BIM nous extrait de notre zone de confort. En effet, le péché par omission du concepteur n'a plus sa place, car la non-redondance de l'information et sa représentation dans l'espace permet, en un clin d'œil, de détecter l'incohérence, l'erreur ou l'oubli.

Notons enfin que la démarche est d'autant plus inconfortable pour les concepteurs qu'elle remet en cause un aspect simple mais fondamental de notre organisation : le temps d'étude. L'effort de conception est bien plus intense dans les phases d'APS/APD que dans la phase PRO (i.e. il est plus difficile de passer d'un niveau 0 à un niveau 2 en géométrie, présynthèse comprise que de passer d'un niveau 2 à un niveau 3). Et c'est fondamental ! Il convient donc d'anticiper cette

il n'en est rien. Bien au contraire, la démarche BIM poussant l'aspect collaboratif de la conception d'un ouvrage à l'extrême, elle nécessite, plus que toute autre démarche et bien au-delà des mots, une réelle collaboration.

INTÉGRATION DU PROCESS DANS LE MODÈLE



© FOUNDATION



9



10

contrainte et de ventiler ses honoraires en conséquence, sans quoi la démarche peut vite prendre une tournure non souhaitée.

Collaboration, transparence, temps d'études... la conception en BIM serait-elle donc seulement inconfortable ? Non, car ces mots sont également synonymes d'anticipation, d'efficacité opérationnelle, de fiabilisation des interfaces et donc, in fine, de gain de temps et d'argent. S'il est aujourd'hui difficile de quantifier le gain représenté par une conception TCE en BIM, il est aisé d'identifier ses bénéfices en phase d'exécution, nous allons le voir.

9- L'ensemble du modèle, à disposition du chantier sur tablette.

10- Enrichissement du modèle par fichiers attachés.

9- The whole model, available to the worksite on a tablet.

10- Model enhancement by attached files.

LE BIM EN PHASE EXE : ASSOCIER LES PARTENAIRES LOCAUX ET ANTICIPER LA RÉALISATION

Fort du succès de la démarche BIM menée jusqu'alors, le mandataire eut le sentiment qu'il en tirerait tous les bénéfices en la poussant plus loin encore : en associant les partenaires locaux désignés pour la réalisation des corps d'état, et en faisant bénéficier ses services internes des modèles constitués afin d'anticiper au mieux la réalisation. C'est ainsi que les études d'exécution des lots structurels (gros-œuvre, charpente métallique), et celles des

lots techniques (CVC, plomberie, électricité, fluides spéciaux) furent menées en BIM (niveau 4 atteint en géométrie, de 2 à 4 atteint en donnée suivant les lots). En parallèle, l'architecte avait accepté de remettre à jour son modèle au cours des études d'exécution afin de maîtriser au mieux le produit fini. La plupart des entreprises débutaient, ce qui représenta un beau défi de BIM-management mais, a posteriori, toutes confirment que cette découverte fut concluante. Citons quelques exemples de sujets traités à l'aide du modèle en phase d'études d'exécution :

→ La synthèse technique : exhaustive, précise et sans perte d'information grâce à l'usage d'outils collaboratifs tels que les objets et maquettes « réservations » et des détections de clash réalisées à l'aide du logiciel Navisworks. Le résultat constaté est la non-conformité au besoin des lots techniques de seulement 5 réservations (sur les 400 réalisées) (figure 7).

→ La gestion des réseaux incorporés dans la structure du Bunker : soumis aux contraintes évoquées précédemment, ces réseaux ont fait l'objet d'une maquette à part, et de nombreux échanges entre le fournisseur du process, l'amenant même parfois à revoir son cahier des charges. Une fois leur cheminement validé, ils ont pu être ensuite intégrés par le bureau d'étude béton armé dans son modèle, afin de lui permettre d'appréhender au mieux les nœuds de ferrailage, et ce, bien avant le début de la réalisation. Ils ont en outre fait l'objet de carnets de détails spécifiques mêlant vues 3D et coupes variées, mis ensuite à disposition des équipes de production.

→ La gestion de l'interface avec le process : communiqué par son fournisseur, le modèle 3D de l'ensemble de l'installation ProteusOne® fut intégré très tôt dans le modèle et permit entre autres de valider les interfaces de manière précise (figure 8).

→ L'anticipation des modes opératoires spécifiques : la structure du bâtiment Bunker étant composée de volumes complexes et non redondants, l'usage de la maquette structure par les services méthode, ainsi que par le maître compagnon lors de la préparation du chantier a permis de mieux visualiser l'ouvrage, et d'adapter le coffrage, la rotation et le matériel en conséquence.

En un mot : l'usage du BIM en phase EXE, c'est « mieux anticiper pour gagner en productivité en réduisant l'aléa ».

Est-ce une figure de style, un vœu pieu ou une réalité ? Donnons ci-après quelques éléments de réponse.

**LE BIM « ON-SITE » :
AMÉLIORER LA QUALITÉ ET
LA SÉCURITÉ GRÂCE À L'USAGE
DU MODÈLE SUR LE TERRAIN**

Deux démarches innovantes ont été menées sur le chantier à partir de décembre 2015 : la mise en place d'un outil de suivi de chantier BIM-compatible et le développement d'une application interactive permettant d'améliorer la « conscience du risque » des compagnons.

Le premier outil, DigitalSite®, est une solution logicielle compatible IOS et disposant d'une interface web, qui permet, à l'aide d'un plugin Revit de mettre à disposition des équipes sur le chantier le modèle BIM du projet dans son ensemble, avec toute la richesse de la donnée qu'il contient (figure 9).

Il permet même à l'utilisateur d'enrichir le modèle (sur l'application seulement) en lui donnant la possibilité d'associer aux objets des fichiers .pdf (modes opératoires, plans de ferrailage, détails en tous genres, ...) (figure 10).

En outre, cet outil permet d'unifier, de centraliser et de pérenniser l'information relative à la qualité d'exécution en recueillant, liées aux ID des objets, les fiches de contrôles réalisées lors de l'exécution et les observations effectuées en phase de suivi d'exécution, d'OPR et de livraison, celles-ci générant un workflow défini au préalable, entre les différents acteurs concernés (figures 11 et 12).

Outre l'aspect collaboratif évident de cet outil, le gain de temps constaté lors de son usage et son aspect *user friendly* est de nature à permettre aux équipes travaux de systématiser les contrôles qualité, qui sont un gage de réussite de nos chantiers.

Le second outil mentionné fit l'objet d'une démarche de recherche et développement interne, partant du constat simple suivant : notre accidentalité est en partie liée à la non-conscience du risque de certains de nos collaborateurs, elle-même liée à une accoutumance plus ou moins grande aux situations à risque.

La prise de conscience du risque est donc un enjeu important pour nos sociétés et l'immersion des compa-



© SOGEA-NORD-OUEST

11

gnons dans un univers digital évolutif, fidèle à la réalité du terrain, est une piste de réflexion.

Un PIC 4D (3D issue du BIM + temporalité rajoutée a posteriori) de type jeu vidéo a donc été développé, permettant d'évoluer dans le chantier dans une situation fidèle à chaque jour de production.

Le management visuel de sécurité y a été inséré, ainsi qu'à chaque journée de travail et à l'élément d'ouvrage concerné le mode opératoire spécifique associé (figures 13 et 14). Si les fruits de cette démarche ne sont

11- Attachement de fiches de contrôle qualité aux objets du modèle.

12- Générer des workflows de suivi d'observations attachées aux objets.

11- Attachment of quality control sheets to the model objects.

12- Generating workflows for monitoring observations attached to the objects.

évidemment pas quantifiables, elle n'en a pas moins suscité l'intérêt de toutes les générations de compagnons qui, repartant chez eux avec leur application, l'utilisaient accompagnés de leurs enfants le soir...

Systématiser les contrôles lors de la réalisation de l'ouvrage, mettre à la disposition des équipes, sur le terrain, l'ensemble des données relatives à celui-ci, et utiliser les modèles afin de créer un environnement immersif pour les compagnons, support d'échanges sur des thèmes aussi centraux que la sécurité, c'est aussi ça le BIM.



© SOGEA-NORD-OUEST

12



13



14

CONCLUSION

Nous l'avons vu, la démarche globale d'amélioration menée par l'ensemble des partenaires sur le projet exigeant de la construction du centre CYCLHAD a trouvé de nombreuses réponses dans un BIM placé au cœur du projet, cen-

tralisant et dynamisant l'information. Si son pilotage à l'aide du modèle fut un vecteur avéré d'optimisation de l'acte de construire dans son ensemble, celui-ci nécessita la remise en cause des modes de fonctionnement qui prévalaient jusqu'alors, en induisant

13- Le plan d'installation de chantier en 4D (PIC 4D).

14- PIC 4D - Suivi de la rotation en modes opératoires associés.

13- The site layout plan in 4D (PIC 4D).

14- PIC 4D - Monitoring of rotation in associated operating modes.

un mode collaboratif étroit et une interdépendance forte entre les différents acteurs.

Le BIM du projet n'a, malgré tout, pas encore atteint son niveau de développement final. La démarche « BIM-to-SITE » menée jusqu'à présent connaîtra en effet un nouveau « rebond » dans les prochaines semaines, car il se dit que le mainteneur enrichit déjà le modèle afin de l'exploiter efficacement en phase d'exploitation/maintenance. Parlera-t-on alors de « BIM-to-SITE... to-BIM-to-SITE » ? □

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

MONTANT DU MARCHÉ DE CONCEPTION / RÉALISATION : 30 M€HT

BÉTON : 20 000 m³

TERRASSEMENT : 15 000 m³

ACIER : 1 900 t

RÉSEAUX INCORPORÉS : 3 km

ÉPAISSEUR MOYENNE DES VOILES DU BUNKER : 4 m

(voile le plus épais : 7,20 m)

ÉPAISSEUR MOYENNE DU PLANCHER HAUT DU BUNKER : 4 m

(épaisseur variable entre 3 et 4,5 m)

MAQUETTES COMPOSANT LE MODÈLE EN FIN DE PHASE CONCEPTION : 10

MAQUETTES COMPOSANT LE MODÈLE EN FIN DE PHASE EXÉCUTION : 14

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SAS CYCLHAD

MAÎTRISE D'ŒUVRE / GROUPEMENT CONCEPTEUR :

Sogea Nord-Ouest (mandataire), Enia architectes, Egis Bâtiment Centre-Ouest, Prisme Ingénierie, Tecam, Millenium, Vinci Facilities

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Sogea Nord-Ouest / Gtm Normandie-Centre

FOURNISSEUR DU PROTEUSONE® : Ion Beam Applications SA (IBA)

ABSTRACT

"BIM-TO-SITE": BIM AS A KEY PART OF BUILDING ACTIVITY - APPLICATION FOR THE ARCHADE PROJECT IN THE CYCLHAD CENTRE IN CAEN

DANIEL FOISSAC, VINCI - CHRISTOPHE QUARDEL, VINCI - DONATIEN FAVREAU, SOGEA - FRANÇOIS CUSSIGH, VINCI - FRANCK DUBOIS, VINCI

Since December 2015, the CYCLHAD centre has been taking shape in the inner suburbs of Caen, in Normandy. In the future, this centre will perform cancer research and treatment by hadron therapy, a new type of radiotherapy based on the projection of a beam of particles called "hadrons" on cancerous cells. The building is subject to major constraints, in particular concerning radiation protection, interfaces with the process, and soil subsidence. The various players involved in the project, under Vinci Construction France, the leader of the consortium awarded the Design, Build, Maintenance contract, developed an innovative collaborative approach called "BIM-to-SITE", revolving around a BIM used in a comprehensive, integrated manner aimed at optimisation, safety and quality. □

BIM-TO-SITE: EL BIM EN EL EJE DEL ACTO DE CONSTRUIR - APLICACIÓN EN EL PROYECTO ARCHADE EN EL CENTRO CYCLHAD, EN CAEN

DANIEL FOISSAC, VINCI - CHRISTOPHE QUARDEL, VINCI - DONATIEN FAVREAU, SOGEA - FRANÇOIS CUSSIGH, VINCI - FRANCK DUBOIS, VINCI

Desde diciembre de 2015, en la periferia cercana de Caen, en Normandía, se está erigiendo el centro CYCLHAD, futura instalación de investigación y tratamiento del cáncer por hadronterapia, un nuevo tipo de radioterapia basado en la proyección de un haz de partículas llamadas "hadrones" sobre las células tumorales. El edificio está sujeto a importantes restricciones, en especial de radioprotección, de interfaces con el proceso y de asentamientos. Los distintos actores del proyecto, impulsado por Vinci Construction France, líder del consorcio titular del contrato de diseño, realización y mantenimiento, han desarrollado un procedimiento innovador y colaborativo, bautizado como "BIM-to-SITE", que gravita en torno a un BIM utilizado de forma global e integrada en aras de la optimización, la seguridad y la calidad. □



1
© DOMINIQUE PERRAULT ARCHITECTURE

MODÉLISATION DES ARMATURES EN 3D SUR LE CHANTIER DU NOUVEAU LONGCHAMP

AUTEURS : DAVID DUMORTIER, EXPERT FERRAILLAGE 3D/BIM, DIRECTION TECHNIQUE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - ALEXANDRE SAINT-MARTIN, BIM-MANAGER DU DÉPARTEMENT OUVRAGES PUBLICS, BOUYGUES BÂTIMENT ÎLE-DE-FRANCE - ÉRIC TOURNEZ, BIM CORPORATE MANAGER, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

L'UTILISATION DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE POUR LA CONCEPTION DES ARMATURES EN 3D EST AUJOURD'HUI COURANTE CHEZ BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS. L'ENSEMBLE DES PROJETS ÉTUDIÉS EST RÉALISÉ EN 3D. GRÂCE À SES NOUVELLES COMPÉTENCES, LE BUREAU D'ÉTUDES DE LA DIRECTION TECHNIQUE A PU APPORTER SON EXPÉRIENCE EN FERRAILLAGE EN 3D POUR LE PROJET DU NOUVEAU LONGCHAMP. AINSI LE CHANTIER A SU TIRER TOUS LES AVANTAGES DU BIM ET A VU UNE SYNERGIE ENTRE LES DIFFÉRENTES ENTITÉS DU GROUPE BOUYGUES CONSTRUCTION.

LE PROJET

Le projet du Nouveau Longchamp consiste en la démolition, la reconstruction et la rénovation des tribunes de l'hippodrome de Longchamp.

Les différents ouvrages de ce chantier sont principalement la rénovation et l'agrandissement du pavillon vétérinaire, du mail central, des planches et enfin de la tribune du Jockey Club (figure 2).

La réalisation de la tribune du Jockey club présente plusieurs points de vigilance :

- Sa structure : la tribune a une capacité d'accueil de 10 000 places assises sur cinq niveaux, dont le dernier supporte une charpente métallique avec un porte-à-faux long de 21 m, pesant plus de 2 000 t.
- Son délai de réalisation : le temps imparti pour la réalisation des travaux est particulièrement tendu pour limiter la durée d'inactivité de l'hippodrome (moins de 2 ans), avec des échéances impératives (certains grands événements sont déjà planifiés).

LA STRUCTURE

La tribune du Jockey Club possède une structure mixte collaborante : horizontalement, les planchers sont coulés entre des poutrelles en acier, verticalement, les charges descendent par des voiles pour les cages d'escalier et d'ascenseur, et des poteaux métalliques pour le reste de l'ouvrage.

La synthèse structurelle entre les inserts métalliques pour la fixation de la charpente métallique et les armatures des voiles fortement ferrailées (pour reprendre les fortes contraintes

1- Vue d'architecte des nouvelles tribunes de l'hippodrome de Longchamp.

1- Architect's view of the new grandstands at the Longchamp racecourse.



© DOMINIQUE PERRAULT ARCHITECTURE

2

de la charpente) était d'une complexité particulière.

Le travail de synthèse semblait impossible avec des méthodes traditionnelles. C'est la raison pour laquelle un modèle numérique 3D complet a été réalisé. En effet, les notes de calcul de la structure du voile d'about qui reprend le porte-à-faux ont conduit à la mise en œuvre d'un ferrailage très dense (plus de 650 kg/m³).

Ces notes de calcul se sont traduites en plans d'exécution 2D particulièrement complexes, avec de nombreuses tiges de précontrainte et des inserts pour l'accroche de la charpente métallique.

La densité des armatures conçues en 2D ne permettait pas de vérifier en amont la constructibilité de l'ensemble, avec le risque majeur de ne pouvoir réaliser le montage sur site.

Le projet étant contraint par un planning serré, il n'était pas envisageable de procéder de manière traditionnelle. Dans ce contexte, l'équipe de BIM Management de Bouygues Bâtiment Île-de-France a fait appel aux compétences des équipes de conception de Bouygues Travaux Publics, afin de partager les inquiétudes du chantier et mettre en œuvre des processus de conception 3D du ferrailage des zones délicates.

2- Zoning du chantier.

3- Agrégation des modèles de Structure et de Charpente métallique.

2- Project zoning.

3- Aggregation of the Structure and Steel Frame models.

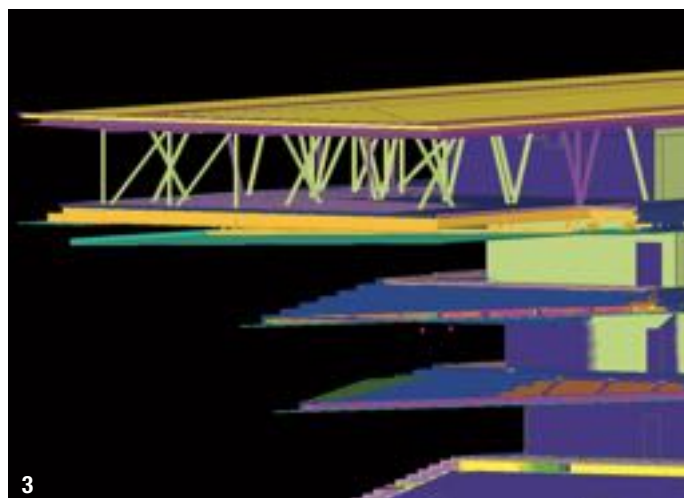
Bouygues TP possède de nombreuses expériences couronnées de succès sur la modélisation des armatures en 3D et une collaboration efficace avec l'ensemble des intervenants a été élaborée pour l'étude d'une partie spécifique de la tribune du Jockey Club.

L'objectif était de vérifier l'implantation des aciers et de s'assurer de la possibilité de les monter, puis de générer les plans d'exécution 2D nécessaires aux équipes travaux, tout cela à l'aide d'une modélisation 3D complète des armatures tenant compte des différentes contraintes identifiées.

UN BIM MANAGEMENT D'EXÉCUTION

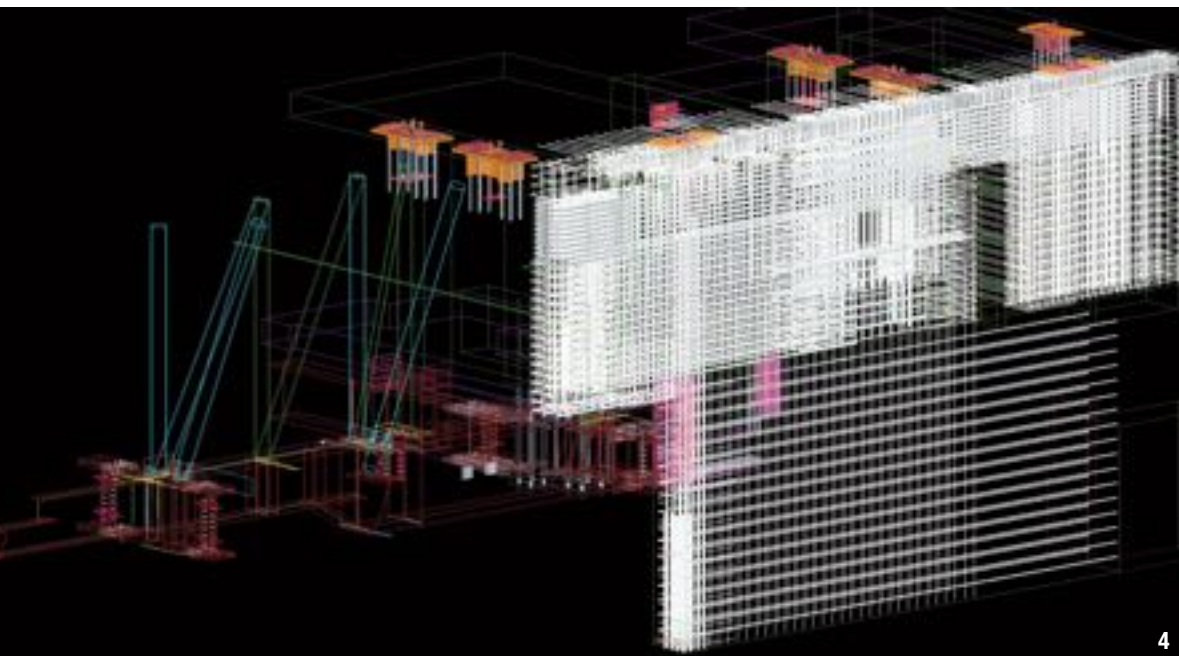
Sur ce Nouveau Longchamp, la direction du chantier a décidé de mettre l'accent sur l'innovation et, tout particulièrement, sur un « BIM au service du chantier ». Encore récemment, le BIM était l'apanage des bureaux de conception, mais les équipes travaux ne bénéficiaient pas encore de toute la puissance de ces nouvelles technologies. C'est pourquoi, l'équipe de BIM management mobilisée a été fortement impliquée pour « pousser » le BIM vers les compagnons. Ainsi des points réguliers entre le BIM Manager et la direction du chantier ont été organisés, avec pour objectif de s'assurer que le BIM servait bien la productivité, la qualité et la sécurité sur le chantier.

Comme dans toute démarche BIM, un ensemble des cas d'usage possibles a été passé en revue, pour identifier ce qu'il était possible et raisonnable de déployer sur le terrain pour faciliter les tâches des équipes travaux. Cette sélection de cas d'usage BIM s'est traduite tout d'abord en besoins matériels et logiciels : une K-BIM (cabine BIM, soit la mise à la disposition sur site d'une cabine accueillant un ordinateur et son écran de grandes dimensions pour partager des informations numériques au sein des équipes travaux), ▷



3

© BOUYGUES CONSTRUCTION



© BOUYGUES CONSTRUCTION

© BOUYGUES CONSTRUCTION

des tablettes renforcées pour le suivi de l'avancement des travaux et des logiciels développés spécifiquement pour les cas d'usage sélectionnés. Ceci s'est également traduit en exigences de structuration des informations et de modélisation dans la maquette. Sans oublier l'équipe de BIM Management nécessaire pour orchestrer ces innovations et assurer la cohérence de l'ensemble.

RÉALISATION DE LA MAQUETTE

Concernant la structure, deux maquettes ont été réalisées : le bureau d'études Ceba a fourni une maquette structure béton réalisée avec Revit, et l'entreprise en charge de la charpente métallique a fourni une maquette réalisée avec Tekla.

Pour produire une étude prenant en compte les inserts nécessaires à la mise en place de la charpente, ces deux maquettes 3D ont d'abord été agrégées en un seul modèle sous Tekla Structure (figure 3).

Puis les armatures ont été modélisées en 3D à partir des plans d'exécution 2D qui avaient déjà été réalisés au préalable. Ainsi, les nomenclatures d'aciers étaient respectées et le repérage des aciers restait inchangé, ce qui permettait de ne pas remettre en cause les premiers approvisionnements d'aciers. La nouvelle représentation du ferrailage est donc la représentation fidèle de l'ensemble des plans 2D dans la maquette 3D. La position de chaque acier a été contrôlée automatiquement par les fonctionnalités de « declashage » de Tekla, pour éviter tous

conflits avec les éléments adjacents (autres aciers et inserts). Le but final est bien d'obtenir une cage d'armatures *Clash free*, c'est-à-dire sans aucune collision (figures 4 et 5).

Enfin, une animation séquencée et documentée de mise en œuvre des familles d'acier a été produite, afin de prouver la constructibilité de l'ensemble et de montrer l'enchaînement des phases de montage (avec les numéros des aciers utilisés) (figure 6). Cette vidéo réalisée avec Navisworks et Windows Movie Maker a permis de communiquer aux monteurs, sur site, la méthode de mise en place (par utilisation de la K-BIM sur le chantier, cabine dédiée aux compagnons pour visualiser les modèles 3D en complément des plans 2D validés) (figure 7).

4- Vue générale de la cage d'armatures du voile d'about.

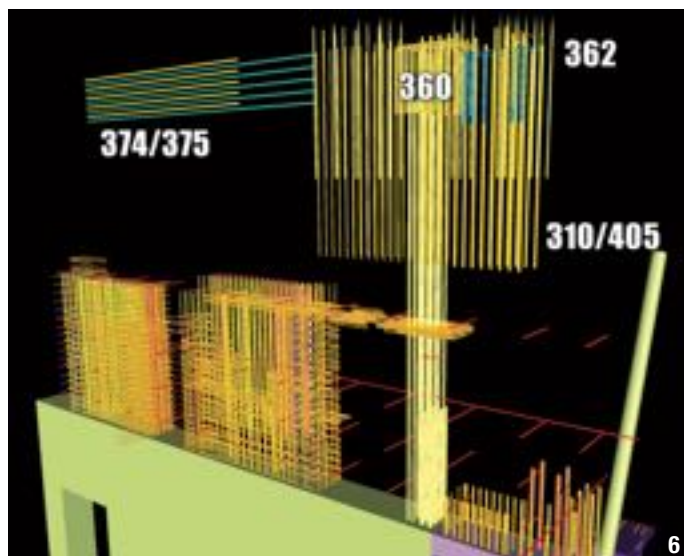
5- Vue détaillée de la densité des aciers de la cage d'armatures du voile d'about.

6- Capture d'écran de la vidéo de montage des aciers.

4- General view of the reinforcement cage for the end wall.

5- Detailed view of the density of steels in the end-wall reinforcement cage.

6- Screen capture of the steel assembly video.



© BOUYGUES CONSTRUCTION

AVANTAGES DE LA MAQUETTE 3D

Lors des réunions avec les bureaux d'études impliqués, la projection du modèle 3D s'est révélée être un véritable levier pour la compréhension globale de l'objet à réaliser et pour l'appréhension des tâches à venir, tant pour la mise en place des armatures que pour définir les ouvertures pour le coulage du béton auto-plaçant. Il est évident que les prises de décision autour d'un jeu de plans 2D d'armatures est sans commune mesure avec la facilité d'interprétation d'un modèle 3D visible sous tous ses angles les plus recherchés.

De plus, la prise en compte de l'impact « méthodes » en intégrant le système de mise en place des banches ainsi que des arrêts de coulage du voile pour les attentes de la dalle de la dernière levée, a permis d'anticiper les conflits, avec des armatures parfaitement implantées, modélisées avec leur diamètre d'encombrement réel et avec l'ensemble des épingles et aciers supplémentaires nécessaires à la tenue de l'ensemble pendant les phases de montage et de bétonnage.

Cette modélisation a permis également de mettre en évidence l'impact des inserts de fixation de la charpente noyés dans le béton, et donc inclus dans les cages de ferrailage (figure 8). Enfin, grâce ce modèle 3D largement partagé au sein des équipes travaux, les monteurs ont su décortiquer en détail les plans. La modélisation du ferrailage 3D a permis aux équipes travaux de s'approprier les plans 2D (issus du modèle 3D) avec une

7- K-BIM en situation sur le chantier.

8- Détail de l'implantation des inserts de fixation au sein des armatures.

9- Vue du voile d'about pendant la phase d'exécution.

7- K-BIM in real conditions on the site.

8- Details of the layout of fastening inserts in the reinforcements.

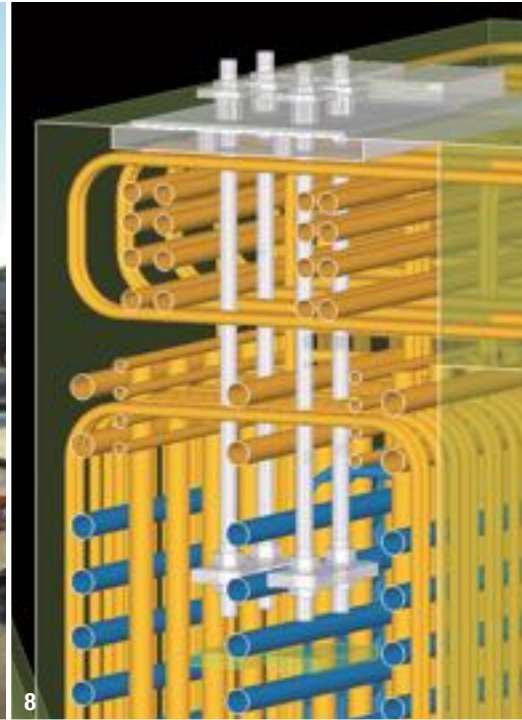
9- View of the end wall during the execution phase.

© BOUYGUES CONSTRUCTION



7

© BOUYGUES CONSTRUCTION



8

meilleure compréhension des formes d'armatures et de leur position dans le voile, mais aussi par rapport aux autres voiles avoisinants (figure 9).

BILAN

Le projet du nouveau Longchamp est un projet utilisant des techniques innovantes, en particulier concernant l'utilisation du BIM :

- Pour la conception et le dimensionnement du génie civil de la tribune, soutenant une charpente métallique en porte-à-faux de 2200 t, avec des revues de conception organisées autour d'un même modèle 3D ;
- Pour l'étude des méthodes de réalisation des zones complexes, et plus spécifiquement le montage des aciers ;
- Pour le suivi de chantier ;
- En démocratisant l'utilisation de la maquette sur le chantier avec la K-BIM, qui permet de partager des



9

© BOUYGUES CONSTRUCTION

modèles 3D avec les compagnons en charge de la réalisation des travaux ;

- Enfin en améliorant la synergie au sein des différentes entités du groupe Bouygues Construction, permettant de mettre en valeur les expertises des collaborateurs impliqués dans la démarche. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : France Galop

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Dominique Perrault Architecture

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Bouygues Bâtiment Île-de-France
Ouvrages Publics

PARTENAIRES PRINCIPAUX : Byes (Cvc & Elec), Brunel, Bysteel, Sovatra

ABSTRACT

3D REINFORCEMENT MODELLING ON THE NEW LONGCHAMP SITE

DAVID DUMORTIER, BOUYGUES TP - ALEXANDRE SAINT-MARTIN, BOUYGUES - ÉRIC TOURNEZ, BOUYGUES TP

Following on from the article on 3D reinforcement design published in September 2015 in the special "BIM" review in Travaux magazine, the Bouygues Construction personnel have now become operational and are working to facilitate the design and placing of complex reinforcement cages on construction sites. The grandstands of the "New Longchamp" project, which is especially innovative in the deployment of BIM to help on the construction site, are a representative example of use of the "3D reinforcement" application. □

MODELIZACIÓN DE LAS ARMADURAS EN 3D EN LA OBRA DEL NOUVEAU LONGCHAMP

DAVID DUMORTIER, BOUYGUES TP - ALEXANDRE SAINT-MARTIN, BOUYGUES - ÉRIC TOURNEZ, BOUYGUES TP

Tras el artículo acerca del diseño del armado en 3D publicado en septiembre de 2015 en la revista Travaux, Especial BIM, los equipos de Bouygues Construction ya están operativos y trabajan para facilitar el diseño y la utilización de jaulas de armaduras en las obras. Las graderías del hipódromo Nouveau Longchamp, proyecto particularmente innovador en términos de despliegue BIM al servicio de la obra, son un ejemplo representativo de utilización del caso de uso "Armado en 3D". □

LE BIM UN OUTIL DE CONCEPTION ET UNE AIDE À LA CONSTRUCTION INDISPENSABLE - TOUR TRINITY

AUTEURS : DOMINIQUE HELSON, DIRECTEUR DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - DANIEL FOISSAC, DIRECTEUR BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES ENGINEERING, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - SÉBASTIEN GARNIER, RESPONSABLE DE PÔLE, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - CAROLINE REMINY, DIRECTRICE I-TECH, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - JEAN-BAPTISTE VALETTE, DIRECTEUR ADJOINT INGÉNIERIE AVANCÉE VINCI CONSTRUCTION FRANCE

ON PENSAIT QUE LE SITE DE LA DÉFENSE NE PERMETTAIT PLUS DE CONSTRUIRE DE NOUVELLES TOURS. IL FALLAIT DONC IMAGINER UN PROJET DIFFÉRENT NE CRÉANT PAS DE GÊNE AUX PIÉTONS ET AUX 24 000 VÉHICULES/JOUR. VÉRITABLE OUTIL À LA DÉCISION ET À LA DÉTECTION RAPIDE DE CONFLITS TECHNIQUES, LE FULL BIM MIS EN PLACE PAR LES ÉQUIPES EXPERTES DE BATEG ET TPI JOUISSANT D'UNE PLEINE MATURITÉ, A DÉMONTRÉ TOUTE SON UTILITÉ, PERMETTANT DE MIEUX INTÉGRER L'OUVRAGE DANS L'EXISTANT.



© GRAPHIX-IMAGES / L'ZYLBERMAN / AUGUSTO DA SILVA

PRÉSENTATION DU GÉNIE CIVIL DU SOCLE TRINITY

Le projet Tour Trinity porte sur la réalisation d'un immeuble de bureaux comprenant une tour IGH en surplomb de voiries, reliant par le biais d'un socle les parvis de la Défense situés de part

et d'autre du boulevard de La Division Leclerc (figure 1).

L'ensemble du projet immobilier comprend les parties suivantes :

→ Un ouvrage de couverture des voiries constitué des piédroits (figures 3 et 4) et de leurs fon-

1- Vue d'ensemble.

1- General view.

datations filantes, supportant une dalle de niveau fini +57,30 NGF régnant avec le parvis Coupole. Cet ouvrage couvre les deux chaussées de la RN 192 (figure 2) ainsi que la contre-allée dite Coupole adjacente ;

- Chaque chaussée ainsi couverte peut être qualifiée d'ouvrage monotube à une ou deux voies de circulation ;
- Un niveau de transfert dit « socle » supporté par l'ouvrage de couverture et constitué de voiles de transferts (figure 3) et d'une dalle de niveau fini +62,10 NGF alignée avec le parvis CNIT surplombant partiellement la contre-allée dite « CNIT » (figures 5 et 6) L'ouvrage de couverture des voiries est classé N3 au sens du guide du CETU, ce qui nécessite une analyse non linéaire sous incendie HCM120 et CN240 avec les propriétés réduites des matériaux en fonction de la température au cœur du béton ;
- Trois « liaisons urbaines » consistant en des circulations piétonnes - ascenseurs et escaliers - reliant le niveau de voirie aux dalles à créer ;
- Un bâtiment IGH de niveaux R+24 à R+30 émergeant au-dessus du socle ;
- Une galerie enterrée sous la voirie de contre-allée CNIT servant d'aire de livraison pour les bâtiments. La voie privée ainsi créée jouxte et est parallèle à l'ouvrage de couverture.

SPÉCIFICITÉ DU SOCLE TRINITY

Les principales particularités du projet et des études des ouvrages de l'infrastructure sont les suivantes :

→ La présence de l'IGH sur une partie des ouvrages de l'infrastructure.

L'importante descente de charge issue de l'IGH doit être transmise aux fondations via l'ouvrage de couverture. Il faut donc que les structures de l'IGH soient à l'aplomb des piliers longeant les voiries pour



2
© BATEG

- éviter des transferts d'efforts trop importants dans le socle.
- **La présence des voies de circulation de la défense.**
Elles impliquent une résistance au feu de l'ouvrage de couverture des voiries de niveau N3.

2- 24000 véhicules/jour traversent le chantier Trinity.

3- Banche des piliers de très grande hauteur.

4- Ferrailage des piliers.

2- 24,000 vehicles pass through the Trinity construction site each day.

3- Formwork panel for the very high side walls.

4- Side-wall reinforcement.

La résistance au feu des structures est donc assurée par la résistance intrinsèque des structures dimensionnées selon le guide du CETU « Comportement au feu des tunnels routiers » et son complément. L'ensemble des structures doit en outre être NO (absence d'effondrement en chaîne).

→ Les fondations sur micropieux.

La partie du socle sous IGH recevant une descente de charge verticale importante est fondée sur 994 micropieux. La reprise des efforts horizontaux est assurée par 7 contreforts sur le côté du socle reposants chacun sur 2 pieux Ø1200 mm.

→ Découpage des infrastructures en 2 parties distinctes.

La présence de joints de dilatation au milieu des infrastructures sépare la partie supportant l'IGH (AVEC IGH) du reste des infrastructures (SANS IGH), donc une zone avec de fortes compressions dans les piliers sur

micropieux et une autre plus classique sur semelles filantes.

→ Planning travaux.

L'ouvrage d'art est construit en maintenant la circulation, ce qui nécessite un phasage particulier de réalisation des piliers, de la dalle de couverture ainsi que des liaisons urbaines (figure 7).

DÉROULÉ DES ÉTUDES DU SOCLE TRINITY

Définition des hypothèses et données d'entrée. Cette étape définit les hypothèses de calcul ainsi que les données d'entrée (géométrie, ISS, chargements).

Des itérations entre le modèle de structure et la modélisation géotechnique en 3D ont été nécessaires pour converger sur des valeurs de tassements et de répartition des efforts sur les fondations.

Étude générale des efforts dans les infrastructures. Cette étape consiste au calcul des efforts dans les infrastructures au moyen d'une modélisation locale du socle à l'aide du logiciel Sofistik.

Des itérations avec la modélisation globale permettent de caler les efforts à l'interface des 2 modélisations. Efforts sur les fondations. Les efforts sur les fondations issus du modèle local servent au dimensionnement des fondations.

Efforts à froid et principe de ferrailage. Cette étape consiste à définir les principes de ferrailage des portiques sous les combinaisons ainsi que la détermination des sollicitations à l'état initial de l'ELU accidentel feu pour l'analyse de résistance N3.

Les résultats de cette étape définissent les hypothèses pour le calcul à chaud. ▷



3



4

Calculs à chaud. Cette étude consiste à valider par une modélisation 2D, sous les scénarios de feu, la stabilité de la structure sous un feu type HCM120 et CN240.

Les différents scénarios étudiés ainsi que les coupes de calculs choisies pour les vérifications au feu doivent permettre de couvrir la totalité des scénarios d'incendie possible (figure 8). La vérification au feu est ensuite réalisée par une analyse non-linéaire prenant en compte les caractéristiques dégradées des matériaux en fonction de leur température au cours de l'incendie. Pour le feu HCM120, il est également prévu de prendre un écaillage de surface dès le début de l'incendie dont la profondeur est estimée par des essais en laboratoire pour les formulations de béton retenues pour le chantier. Synthèse des calculs à froid et à chaud. Cette étude consiste à valider les ferraillements dans la structure et renforcer éventuellement le ferraillement à froid pour assurer la stabilité des structures sous tous les scénarios d'incendie.

Études locales et principes de ferraillement. Cette étape consiste à étudier en détail tous les éléments du socle pour en valider le dimensionnement et déterminer les sections d'armatures enveloppes nécessaires à la résistance de la structure à froid et sous situation d'incendie. Réalisation de la maquette 3D.

L'ensemble des structures béton est modélisé en 3D à l'aide du logiciel Revit pour permettre une évolution interactive des structures avec la synthèse TCE et architecturale.

Réalisation des plans de coffrage et de ferraillement. Les plans de coffrage sont issus de la maquette 3D.

Les plans de ferraillement sont exécutés à partir des principes de ferraillement définis dans la dernière étape des dimensionnements.

PRÉSENTATION DE LA DÉMARCHE BIM ET DU BIM MANAGEMENT

Le BIM Management a été défini dans un objectif général d'excellence des études d'exécution et conduite des travaux par la direction de projet Bateg assistée par le service Ingénierie Modélisation et Projets de Vinci Construction France. Les usages retenus pour le projet sont donc les suivants :

- Relevé & modélisation de l'existant sur la base du nuage de points ;
- Modélisation de la conception (modélisation du dossier marché et des modifications apportées pendant les études d'exécution) ;



© GRAPHIX-IMAGES / LZYLBERMAN / AUGUSTO DA SILVA

- Utilisation d'une codification commune au sein du projet pour les objets et matériaux ;
- Revue de projet notamment pour les réunions de synthèse ;
- Extraction des quantités pour mise au point des contrats de sous-traitance ;
- Extraction des plans d'exécution ;
- Coordination 3D des différents lots ;
- Conception des systèmes constructifs (utilisation de la maquette pour la réalisation de méthodes d'exécution détaillées) ;
- Suivi de l'avancement des travaux de construction et des situations des sous-traitants ;
- Planification/phasage (modélisation 4D) ;
- Gestion des ressources matérielles



© GRAPHIX-IMAGES / LZYLBERMAN / AUGUSTO DA SILVA

(modélisation 5D du chantier pour l'utilisation des grues et matériels de coffrage) ;

- DOE et préparation des modèles pour l'initialisation de la phase maintenance.

Tous les acteurs internes et externes se sont engagés dans la démarche BIM du projet dans la Convergence BIM de Vinci Construction France en mutualisant l'utilisation de l'offre BIM BlueBIM Toolbox (convention BIM, kit BIM, organisation type).

Le secteur du BTP est en pleine transformation digitale. Tous les partenaires sous-traitants du projet n'ont pas encore atteint une maturité BIM au niveau de l'ambition BIM du chantier. Ils ont donc été individuellement accompagnés pour la réalisation en BIM de leurs études d'exécution ainsi que du suivi de leur exécution.

BIM, TOPOGRAPHIE ET AUSCULTATIONS AUTOMATISÉES DES EXISTANTS

Dans le cadre de la démarche FULL BIM sur cette opération et étant donné l'importance des interfaces au niveau des infrastructures entre les existants et le projet, il a été décidé de lancer un relevé scan 3D des existants (figure 9). Ce scan 3D a couvert l'intégralité des voiries, les parvis de la Défense et le boulevard de La Division Leclerc. 170 stations ont été réalisées pour couvrir cette superficie et optimiser la précision.

Ce relevé très étendu devait intégrer 4 contraintes principales :

- La nécessité d'avoir un scan 3D et une maquette des existants géoréférencés dans un système certifié, alors que la Défense compte plusieurs systèmes certifiés par plusieurs géomètres expert ;

5- Pieux provisoires sous la contre-allée du CNIT.

6- Pieux provisoires sous la contre-allée du CNIT.

5- Temporary piles under the CNIT building side lane.

6- Temporary piles under the CNIT building side lane.

- Obtenir une précision millimétrique en x, y, z sur certaines zones de raccordement structurel du génie civil : au niveau du parvis CNIT et des voiries. Cette difficulté qui touche au fait de pouvoir apporter une précision millimétrique sur certaines zones est d'autant plus forte qu'un biais peut être apporté par les différentes étapes que sont le relevé terrain, le nettoyage et l'assemblage du nuage et enfin la modélisation. Nous avons donc dû mettre en place une méthodologie topographique spécifique pour ces zones sensibles afin de contraindre la précision ;
- Délai extrêmement réduit de l'intervention étant donné la circulation à la Défense, et la nécessité pour le chantier de commencer ses études avec cette maquette des existants (délai global inférieur à 3 semaines : relevé terrain, nettoyage et assemblage des nuages de points et modélisation) ;
- Modéliser un nuage de points des infrastructures existantes sous Revit, en respectant la charte BIM de l'opération ; l'objectif étant que la maquette des existants puisse être évolutive et puisse intégrer parfaitement la maquette structure en surplomb.

MÉTHODES D'EXÉCUTION DES INFRASTRUCTURES ET BIM

Le chantier a souhaité que les méthodes d'exécution de l'infrastructure soient partie intégrante de la démarche BIM.



© GRAPHIX-IMAGES / L.ZYLBERMAN / AUGUSTO DA SILVA

7- Vue d'une des 3 grues fondées sur pieux.

8- Exemples de situation d'incendie.

7- View of one of the 3 cranes founded on piles. 8- Examples of fire situations.

Le premier exercice a consisté à compiler des éléments très divers dans une seule et même maquette.

Un modèle 3D a été établi pour les méthodes à partir des éléments suivants :

- Modèle du bureau d'études des structures en phase exécution ;
 - Modèle de l'existant réalisé à partir des scans 3D ;
 - Plans 2D (dwg ou pdf) des existants pour les réseaux et fondations ;
 - Carnets de phasage de l'appel d'offres ;
 - Maintien de la circulation routière sur le boulevard de la Division Leclerc pendant toute la durée des travaux. L'infrastructure à réaliser comporte 5 voiles de 170 m de longueur environ, parallèles au boulevard, et réalisés à proximité immédiate des chaussées circulées.
- Pour chacun de ces voiles, voici typiquement les tâches successives à réaliser :
- Prise de possession des emprises en fonction du phasage de circulation ;

- Repérage des réseaux/démolition des structures existantes ;
 - Réalisation des pieux de fondation/micropieux/pieux berlinois ;
 - Terrassement/blindage ;
 - Exécution des semelles filantes ;
 - Exécution de l'amorce de voile ;
 - Remblaiement ;
 - Ferrailage, coffrage, et bétonnage des plots de voiles de grande hauteur ;
 - Pose des poutres préfabriquées/réalisation des dalles de franchissement sur plateaux coffrants posés sur consoles en tête de voile.
- Puis qu'un ouvrage d'infrastructure, ce sont donc 5 ouvrages linéaires qu'il faut construire, chacun ayant ses contraintes propres et son propre planning.

La maquette numérique unique et collaborative a permis aux équipes de méthodes de travailler en parallèle sur les méthodes des 5 voiles (figure 11). À cet effet, la maquette est « découpée » en sous-projets recouvrant des zones géographiques différentes (ici par exemple les files des voiles). Chacune de ces zones peut être étudiée indépendamment, et un phasage local est établi (phases A1 à A9 pour la file A, B1 à B15 pour la file B, etc.)

Tous ces phasages locaux étant géoréférencés dans la maquette d'ensemble (figure 10), il est ensuite aisé de générer une phase « globale », c'est-à-dire un état d'avancement de la totalité des structures correspondant à la cohabitation des phases A7, B2, C12, etc.

On peut alors simuler de très nombreuses configurations et analyser leur faisabilité au regard des conflits observés. Cela permet en outre de mettre à jour très rapidement le phasage général afin qu'il soit en adéquation avec l'avancement physique des travaux. Les équipes du chantier ont mis un soin tout particulier à conserver la précision des informations contenues dans les éléments sources de la maquette (modèle de la structure, levé des existants visibles).

Grâce à un travail minutieux de collecte des informations et de modélisation, le même niveau de détail a été atteint sur les existants non visibles (structures enterrées, réseaux). Si bien que la maquette méthodes a pu être utilisée pour les plans d'exécution de certains ouvrages provisoires (berlinoise) avec, compte tenu de la déclivité du terrain naturel, des pieux tous différents et donc autant de coupes que de pieux à représenter.

EXEMPLES DE SITUATION D'INCENDIE



SYNTHÈSE TECHNIQUE ET ARCHITECTURALE BIM DES INFRASTRUCTURES DU SOCLE DE LA TOUR TRINITY

La démarche FULL BIM sur cette opération a pour avantage principal, la compilation d'une maquette TCE projet et existants, au fur et à mesure de l'avancement des études. Ceci facilite grandement le travail de la synthèse et permet une plus grande précision. Le travail de synthèse technique BIM est un outil de conception indispensable.

Ce travail a principalement consisté à définir les cheminements des nombreux lots techniques (électricité, plomberie et CVC) venant innervier les restaurants et tous les locaux techniques, présents sous la zone IGH.

Cette révision complète des études CET par rapport au projet a eu pour conséquence la création de nombreuses réservations dans une zone très sensible qui ne contenait pas de réservations au marché, soit celle des linteaux du noyau du socle de la tour, soit au-dessus des voiries. Ces réservations nouvelles ont donc nécessité le redimensionnement du calcul structure de l'ensemble du gros œuvre dans ces zones sensibles.

La mise en place de deux procédures de synthèse BIM a été fondamentale dans la réussite de ce processus de synthèse :

- Celle des compilations et des tours de synthèse, avec l'intégration de propositions techniques en 3D directement dans la maquette ;
- Celle du suivi et de la validation des réservations.

Le travail de synthèse architecturale BIM a permis la modélisation du détail. Ce travail a principalement consisté à

9- Relevé Scan des existants.

10- Modèle - micropieux de la file A.

11- Modèle - Coupe micro-pieux file A.

9- Scan survey of the existing environment.

10- Model - Row A micropiles.

11- Model - Cross section of row A micropiles.



© TOUR TRINITY

9

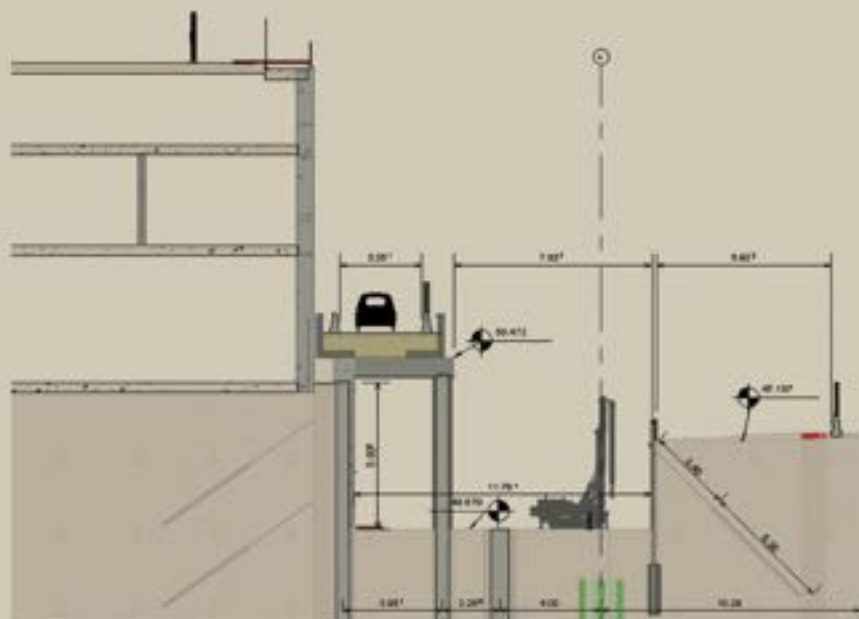
MODÈLE - MICROPIEUX DE LA FILE A



© TOUR TRINITY

10

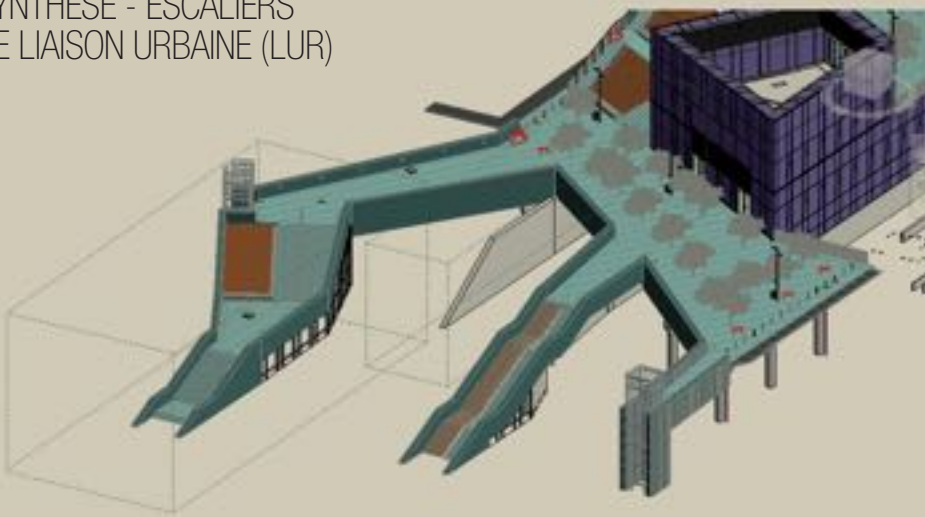
MODÈLE - COUPE MICROPIEUX FILE A



© TOUR TRINITY

11

SYNTHÈSE - ESCALIERS DE LIAISON URBAINE (LUR)



© TOUR TRINITY

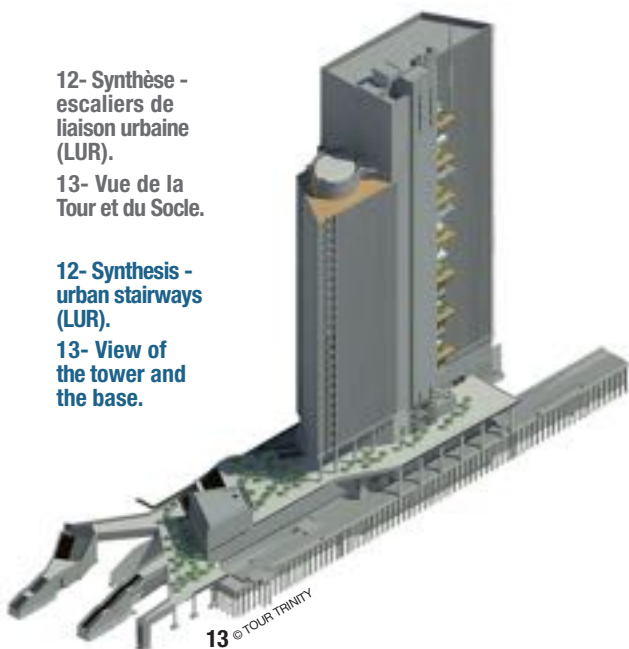
12

12- Synthèse - escaliers de liaison urbaine (LUR).

13- Vue de la Tour et du Socle.

12- Synthesis - urban stairways (LUR).

13- View of the tower and the base.



13 © TOUR TRINITY

ABSTRACT

BIM: A DESIGN TOOL AND AN INDISPENSABLE CONSTRUCTION AID - TRINITY TOWER

D. HELSON, VINCI - D. FOISSAC, VINCI - S. GARNIER, VINCI - C. REMINY, VINCI - J.-B. VALETTE, VINCI

Everyone thought that no new towers could be built on the La Défense site, so it needed daring and imagination to design a different project without causing nuisances for pedestrians and the 24,000 vehicles in the area each day. It is in this context and this novel environment that a large-scale project materialised, building a tower over a major civil engineering structure. The engineer had a very important role to play both for sizing of the structures and for the methods of execution in this constrained environment, and also with regard to the All Trades synthesis between the high-rise building and the civil engineering structure. A veritable tool for decision making and rapid detection of technical conflicts, FULL BIM installed on Trinity proved very useful, allowing the engineers and designers to better integrate the structure into the existing environment. The maturity and expertise of the Bateg and Tpi personnel in the construction of complex structures enabled them to meet this challenge and continue to do so every day. □

concevoir, à créer et à dimensionner des dispositifs sur les liaisons urbaines (figure 12).

La synthèse architecturale BIM permet donc la compilation et la synthèse d'une dizaine de lots techniques en 3D et la création de nombreux détails complexes.

Plus précisément, la synthèse des lots de gros œuvre (dalles, murets, longrines, fondations, socles etc.) et des lots CEA/CESO (façades vitrées, garde-corps, bacs végétalisés, drainage, étanchéité, etc.) qui a révélé de multiples problématiques techniques.

Celles-ci portent notamment sur les assemblages et les fixations des éléments de dalles, de pierres, de joints d'étanchéité et de garde-corps sur l'ensemble du linéaire des liaisons urbaines, avec l'adaptation de fixation de goussets métalliques, de profilés métalliques et de dalles guide-canne directement dans le modèle 3D. Enfin, ces liaisons urbaines entièrement végétalisées comptent de nombreux arbres. Le travail de conception du complexe métal/béton pour ces bacs végétalisés, l'implantation et le dimensionnement des trémies nécessaires pour les accueillir, des étanchéités et des détails de fixation est réalisé par l'équipe de synthèse, la Direction de travaux et les entreprises, directement dans la maquette BIM.

Donner des solutions, inventer si nécessaire des outils de fixation a entièrement fait partie du travail de la synthèse. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SCI Trinity Défense

MAÎTRISE D'ŒUVRE / GROUPEMENT CONCEPTEUR : Cba Architecte / Progexial / Barbanel / Setec tpi / AE75

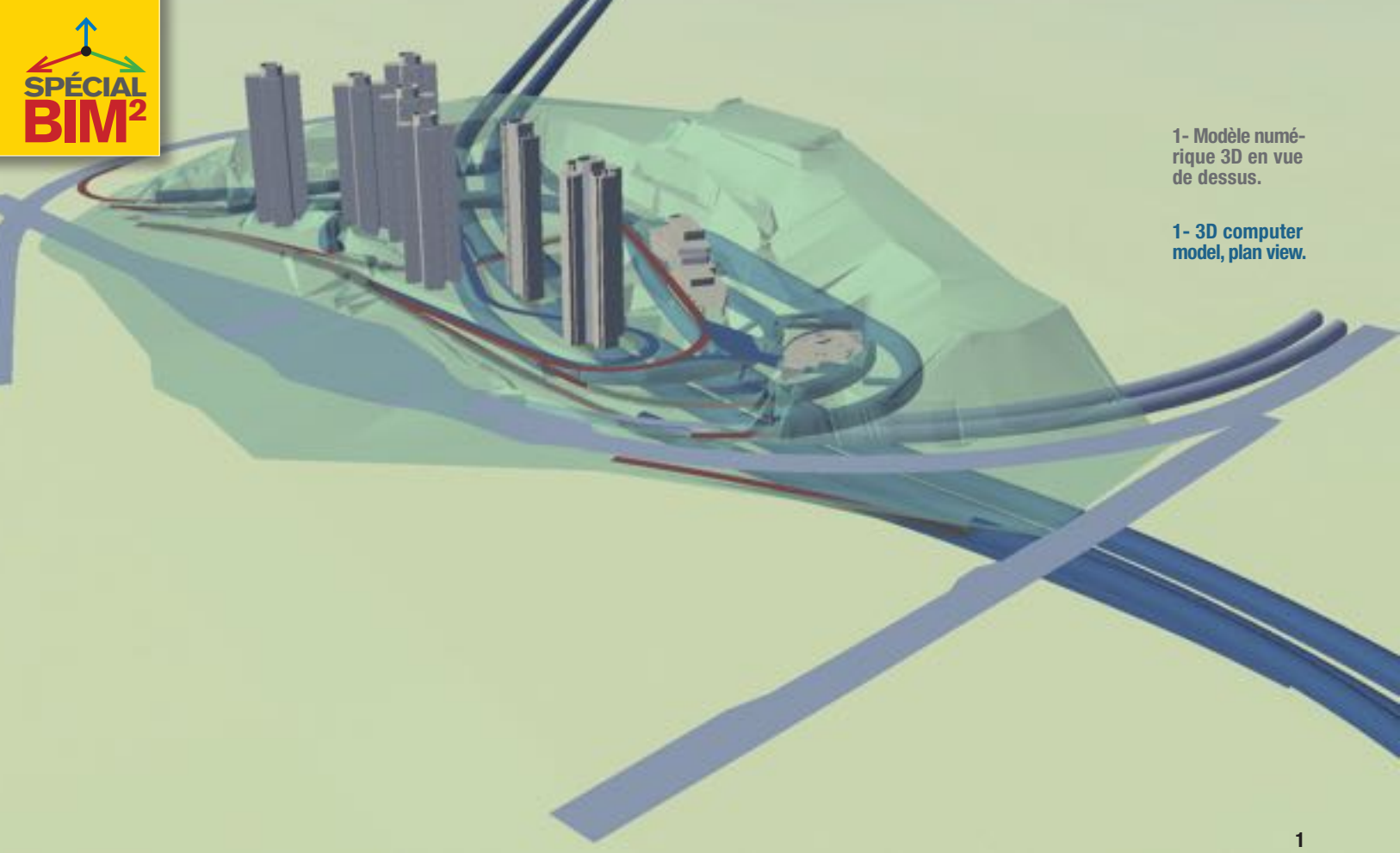
MAÎTRISE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : Artelia

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Bateg (Vinci Construction France)

EL BIM, UNA HERRAMIENTA DE DISEÑO Y UNA AYUDA A LA CONSTRUCCIÓN INDISPENSABLE - TORRE TRINITY

D. HELSON, VINCI - D. FOISSAC, VINCI - S. GARNIER, VINCI - C. REMINY, VINCI - J.-B. VALETTE, VINCI

Todo el mundo pensaba que era imposible construir nuevas torres en el área de La Défense, de modo que ha sido preciso imaginar un proyecto atrevido e innovador que no generara molestias a los peatones y los 24.000 vehículos que transitan cada día por ella. En este contexto y en este entorno inédito ha visto la luz un proyecto de gran envergadura: construir una torre sobre una gran construcción de ingeniería civil. El trabajo de ingeniería ha sido de máxima importancia para el dimensionamiento de las construcciones y para los métodos de ejecución en este entorno limitado, así como para la síntesis de todos los aspectos constructivos entre el edificio de gran altura y la construcción de ingeniería civil. El FULL BIM, creado a partir de Trinity, una eficaz herramienta decisional y de detección rápida de conflictos técnicos, ha demostrado toda su utilidad ya que ha permitido a los ingenieros y diseñadores integrar la construcción en la ubicación existente. La madurez y la competencia de los equipos de Bateg y Tpi en la realización de obras complejas han permitido aceptar este reto, que siguen superando día a día. □



1- Modèle numérique 3D en vue de dessus.

1- 3D computer model, plan view.

1

© BYTP & DRAGAGES HK

LAM TIN TUNNEL À HONG KONG - UNE ALTERNATIVE EN ÉCOCONCEPTION

AUTEURS : CLAUDE FOLEY, DIRECTEUR ADJOINT DU SERVICE PROJETS LINÉAIRES « ÉTUDES-MAQUETTE-CONCEPTION-COORDINATION », BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - OLIVIER MARTIN, DIRECTEUR DU SERVICE INGÉNIEURIE ET SYSTÈMES, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

HONG KONG EST UN TERRITOIRE OÙ SE DÉVELOPPENT ENCORE DE NOMBREUX PROJETS ROUTIERS, DANS UN CONTEXTE URBAIN PARTICULIÈREMENT DENSE. LA COMPLEXITÉ DU PROJET DU TUNNEL DE LAM TIN A POUSSÉ LA DIRECTION TECHNIQUE DE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS À PROPOSER UNE VARIANTE EN ÉCOCONCEPTION, MIEUX INSÉRÉE DANS SON ENVIRONNEMENT, MAIS PERMETTANT AUSSI LA LIBÉRATION DE ZONES CONSTRUCTIBLES ET PAYSAGÈRES. L'OPTIMISATION PAR SIMULATIONS PARAMÉTRIQUES A CONDUIT À UNE VARIANTE BIEN PLUS APPROPRIÉE QUE LA SOLUTION DE BASE ET A FAIT ÉMERGER DE NOUVEAUX PROCESSUS DE TRAVAIL COLLABORATIF AU SEIN DES ÉQUIPES COMMERCIALES ET TECHNIQUES.

INTRODUCTION

À Hong Kong, le gain d'espace est impératif dans tous les nouveaux projets, et les exigences environnementales tiennent également une place primordiale dans la conception dès les phases très en amont (figure 2).

C'est la raison pour laquelle les bureaux d'études proposent régulièrement des solutions alternatives ou d'améliorations en considération de ces facteurs contraignants.

C'est dans cet esprit d'optimisation de l'espace et de prise en compte des fac-

teurs environnementaux que la direction technique de Bouygues Travaux Publics a imaginé et proposé une solution d'échangeur en tunnel pour le futur projet de Lam Tin, alors que le projet initial était en surface et ne permettait pas d'implanter de nouveaux bâtiments (figure 3).

PRÉSENTATION DU PROJET

LE PROJET

Le projet de Lam Tin (figure 4) consiste en la réalisation d'une autoroute à

2x2 voies d'environ 4,2 km de long (dont 2,6 km de tunnel), permettant la liaison entre le quartier de Tseung Kwan O (TKO) à la route de Po Shun à l'est, avec une connexion vers Kai Tai à l'ouest et intégrant un échangeur au niveau de Lam Tin.

L'ÉCHANGEUR

L'échangeur a été conçu de façon à s'intégrer dans une ancienne carrière. Il consiste en la réalisation d'un ensemble de viaducs avec des superpositions sur 3 niveaux (figure 5).

L'ÉCHANGEUR DU PROJET INITIAL

PLAN DE MASSE

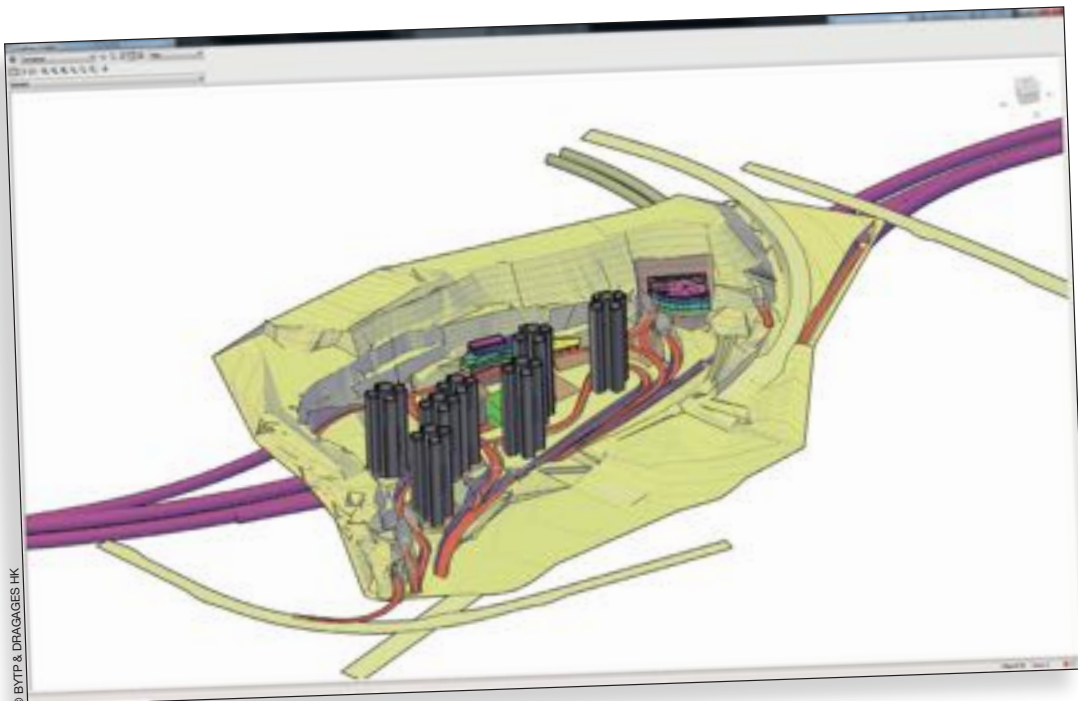
Sur l'image orthophoto de la figure 6 les tabliers sont représentés en bleu afin d'identifier l'espace occupé par l'encombrement des viaducs dans l'espace disponible.

LES INCONVÉNIENTS DE LA SOLUTION

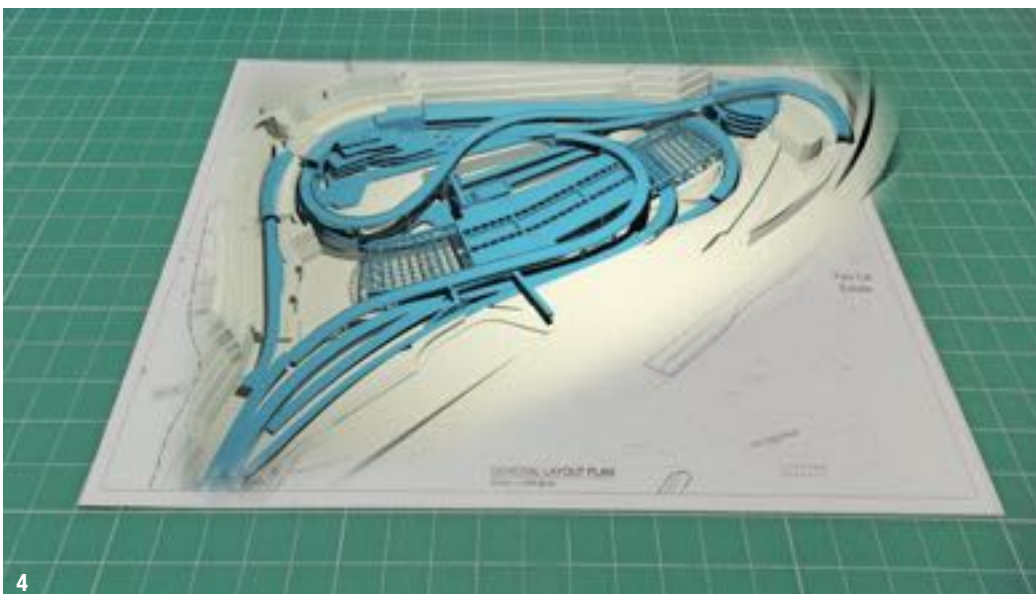
On peut constater que l'implantation de l'échangeur au fond de l'ancienne carrière présente quelques inconvé-



2



3



4

2- Plan de situation du projet de Lam Tin.

3- Vue de la variante proposée pour l'échangeur.

4- Vue complète de l'échangeur initial de Lam Tin.

2- Location drawing of the Lam Tin project.

3- View of the variant proposed for the interchange.

4- Full view of the initial Lam Tin interchange.

nients du point de vue géométrique :

- Les rayons des bretelles sont particulièrement courts, ce qui implique :
 - Des vitesses réduites et des freinages importants ;
 - Des sur-largeurs à réaliser pour s'affranchir des problèmes de visibilité ;
 - Des pentes en long fortes pour respecter les gabarits aux intersections de voies (Ce qui conditionne fortement également les freinages) ;
 - Un problème de réalisation du béton en phase travaux pour gérer des surfaces gauches engendrées par la résultante du dévers et de la pente en long.
- L'enchaînement des rayons de sens contraires amène des basculements de dévers :
 - Circulation moins agréable pour les usagers ;

- Gestion de l'hydraulique à basculer d'un côté à l'autre (ou à conserver des 2 côtés en permanence avec un surcoût induit) ;
- Le problème de réalisation du béton du point précédent en est d'autant plus accentué.

Du point de vue spatial, on constate également qu'il n'y a quasiment plus de surface exploitable.

Et du point de vue environnemental, l'échangeur va amener les nuisances suivantes :

- Nuisances sonores : L'échangeur étant à l'air libre (même s'il est dans une cuvette), le bruit de la circulation viendra s'ajouter aux bruits des véhicules de l'autoroute à l'air libre au niveau du péage ;
- Pollution de l'air : Les freinages et la vitesse réduite amèneront des concentrations de véhicules plus importantes ;
- Pollution visuelle : Elle reste très limitée grâce aux aménagements prévus pour le projet initial mais cette opération d'intégration possède un coût non négligeable.

CONCLUSION

La direction technique de Bouygues TP a pris l'initiative de proposer une étude alternative destinée à être force de proposition, mais aussi à approfondir ce nouveau concept pour justifier les améliorations envisagées.

5- Échangeur dans la solution de base.

6- Encombres des ouvrages de la version de base.

7- Vue orthophoto montrant la solution alternative en tunnel.

5- Interchange in the basic solution.

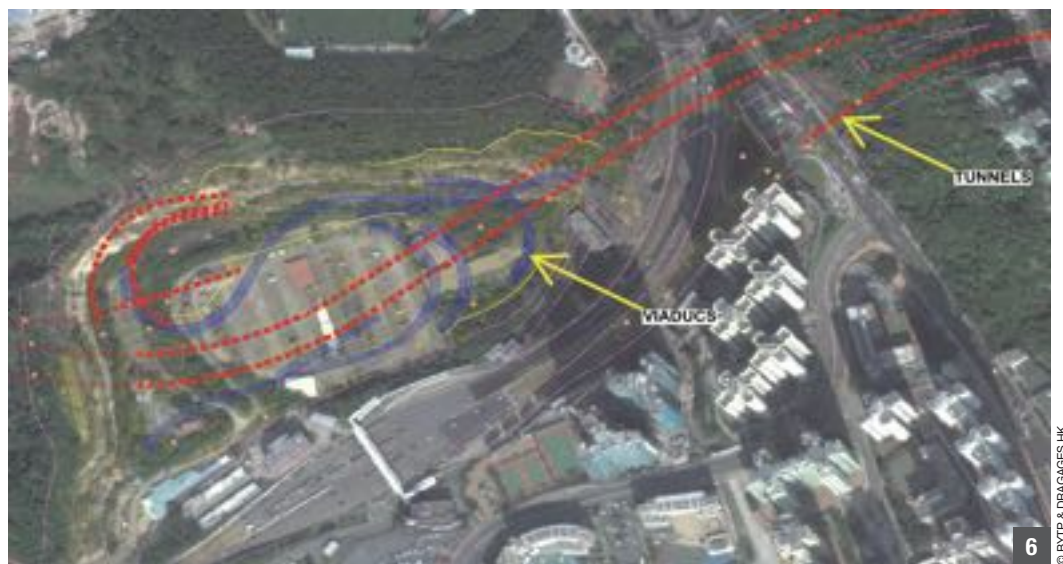
6- Overall dimensions of the structures of the basic version.

7- Orthophoto view showing the alternative solution in the tunnel.



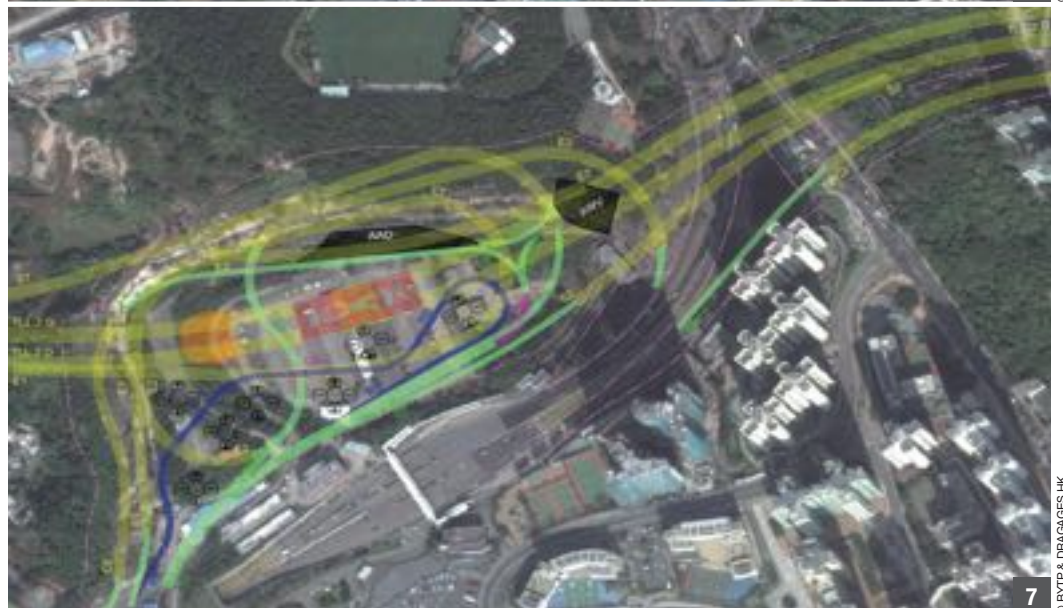
5

© BYTP & DRAGAGES HK



6

© BYTP & DRAGAGES HK



7

© BYTP & DRAGAGES HK

LA SOLUTION ALTERNATIVE PRÉSENTATION DE LA VARIANTE

Sur la figure 7, on peut comprendre comment a été conçu l'échangeur souterrain. Les axes en jaune sont les parties souterraines et les axes en vert montrent les tronçons à l'air libre (avec les ouvrages d'art en rose), tandis que l'axe en bleu représente la voie de circulation qui permettrait l'accès aux différents nouveaux bâtiments rendus constructibles par cette variante.

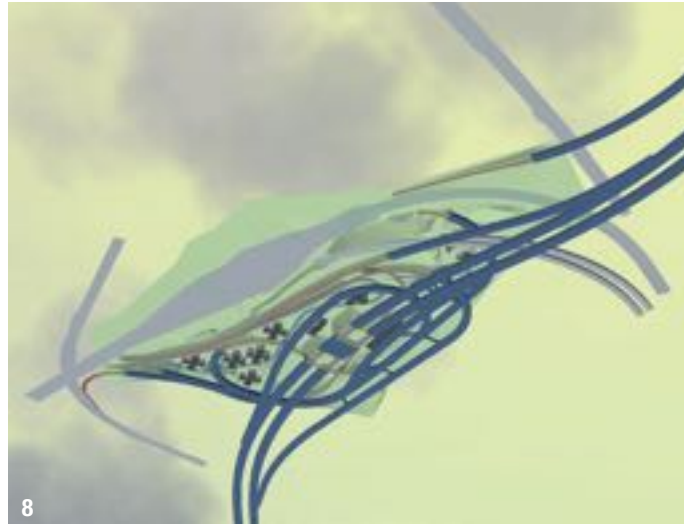
Les 2 extraits de la maquette (figures 1 et 8) permettent d'avoir une meilleure appréciation de la solution alternative proposée.

LA CONCEPTION DE LA SOLUTION ALTERNATIVE

Pour débiter cette nouvelle conception, c'est le tracé de la section principale en tunnel qui a été amélioré : d'abord une augmentation de la valeur du rayon, ce qui a eu pour effet de remonter le projet vers le nord, libérant au passage de la place pour l'implantation de nouveaux bâtiments à usage d'habitation.

Ensuite, une optimisation de la planéité de la géométrie du tracé a permis d'obtenir les rayons de giration optimaux pour les bretelles.

Le comparatif des 2 solutions (figure 9) montre indubitablement que les rayons de la solution alternative sont plus



8
© BYTP & DRAGAGES HK

8- Modèle numérique 3D en vue de dessous.

9- Comparaison géométrique des solutions.

8- 3D computer model, bottom view.

9- Geometric comparison of solutions.

confortables puisqu'il n'y a plus qu'un seul rayon de 50 m, se trouvant, de plus, sur la voie d'exploitation.

Avec l'avantage très significatif induit par la diminution des rayons : la diminution conséquente des largeurs de chaussées et donc des viaducs porteurs.

La figure 10 montre la comparaison entre les quantités de la base et de la variante V01. La longueur des bretelles a augmenté (près de 1 km supplémentaire) mais la surface d'enrobés devient moins importante (diminution supérieure à 2500 m²).

TEMPS POUR RÉALISER L'ÉTUDE DE LA VARIANTE

Le temps d'étude d'une variante est toujours compté, surtout pour s'engager fermement sur sa faisabilité, et occupe 2 ingénieurs pendant 1 mois. Pour atteindre cet objectif, la direction technique a pris le pari de « perdre du temps » à concevoir des développements spécifiques pour accélérer les contrôles de la viabilité de la conception alternative. Les fonctions suivantes ont été spécialement développées pour ajouter des données dans Civil3D :

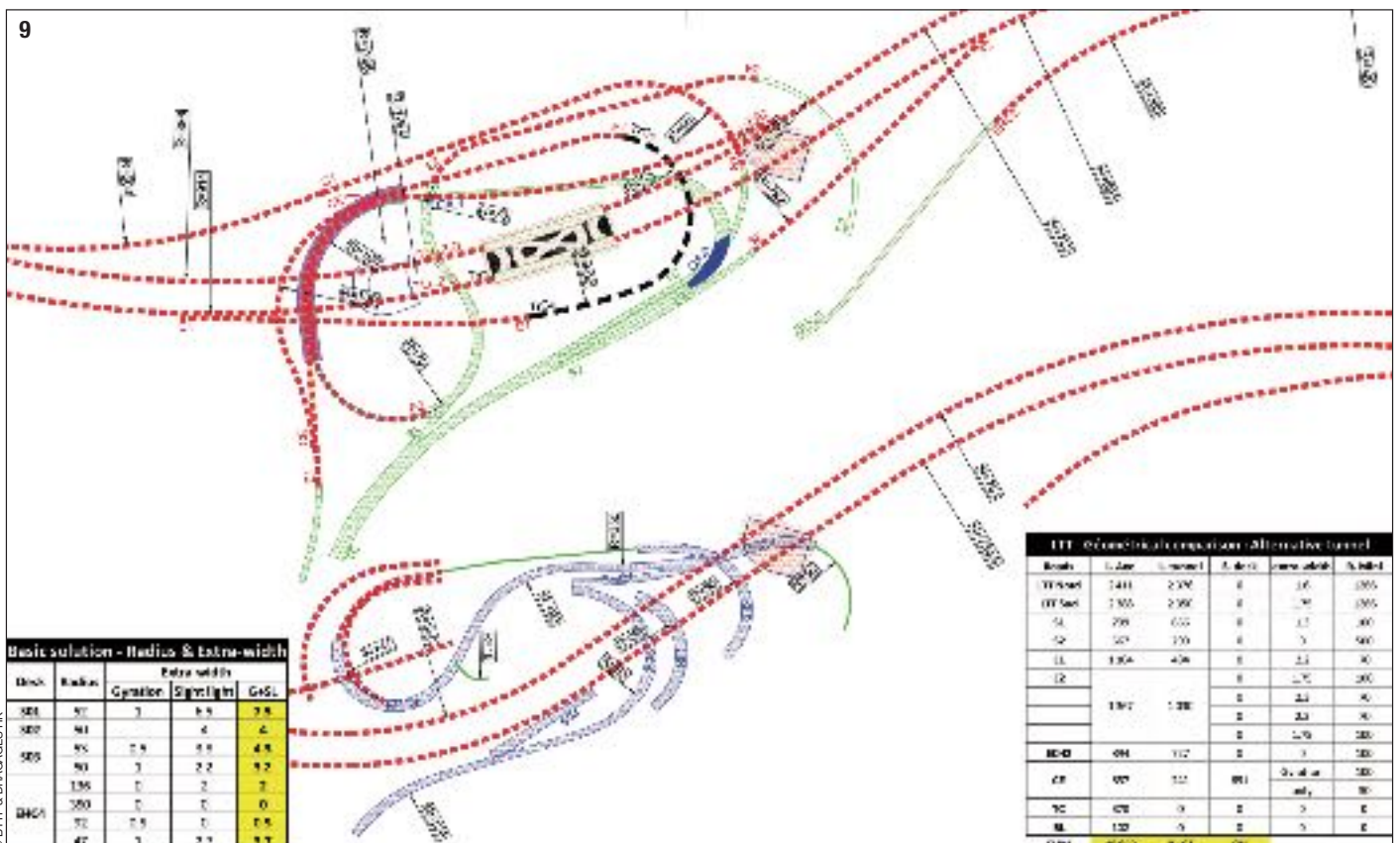
- Vérification des normes de conception routière à travers un tableau Excel de contrôle ;
- Calcul des visibilité dans un calculateur avec une restitution 3D.

Ces deux développements ont été mixés afin de garantir le respect des normes locales en vigueur.

→ Création d'un profil type « paramétrique » unique pour accélérer les études :

- 1- Non multiplication des zones d'application de plusieurs profils ;
- 2- Paramètres impactant le projet à l'aide d'objets-guides pour faciliter la mise à jour itérative.

Ce dernier développement mériterait d'être approfondi, parce qu'il contribue largement à garantir le résultat avec néanmoins une prise de risque importante. ▷



© BYTP & DRAGAGES HK

Il a fallu pratiquement une semaine pour créer le profil paramétrique représentant tous les cas de figure possibles.

Le risque est bien-sûr l'estimation du temps nécessaire pour la création de ce profil ; mais l'avantage est évidemment de n'avoir qu'un seul profil à gérer pour l'ensemble de la conception de la 3D.

Dans un profil paramétrique, on peut affecter un comportement du profil à chaque abscisse curviligne, afin qu'il autorise une étude analytique poussée des contraintes associées à la réaction engendrée.

Exemple : Pour réaliser un tunnel, il faut avoir 5 m de matière tout autour de sa section pour garantir qu'il n'y aura pas un effondrement du matériau de couverture. Cette contrainte a été paramétrée en calculant automatiquement des points décalés de 5 m au-dessus, ainsi qu'à gauche et à droite du tunnel, afin de vérifier que ces points étaient sous le terrain naturel (figure 11).

Quand un des points n'était pas sous le TN, on basculait sur une solution déblai ou tranchée couverte, selon d'autres contraintes présentes dans le profil type paramétrique avec la possibilité de figer la solution en rajoutant des objets extérieurs « guides » (en vue en plan ou sur le profil en long) (figure 11).

L'APPORT DU BIM

Le profil paramétrique a permis de concevoir rapidement un modèle 3D du projet linéaire (tracés externes et souterrains), qui a été alors intégré dans une maquette numérique 3D globale, visualisant le comportement de la variante dans son contexte environnemental.

Pourquoi une maquette numérique globale plutôt que le modèle 3D du tracé seul ? Parce qu'une vue 3D dans laquelle il est facile de se déplacer est préférable pour faire des contrôles visuels et lancer des analyses spécifiques sur l'ensemble de la zone impactée.

Par exemple, pour vérifier que chaque tube était bien, en tout point, 5 m à l'intérieur du terrain naturel mais aussi par rapport aux autres tubes adjacents. Malgré la simplicité affichée, cette conception a été particulièrement fastidieuse et itérative.

Les fonctions paramétriques d'une maquette 3D sont puissantes et pertinentes pour chaque tentative d'optimisation, permettant de converger rapidement vers une solution viable. L'autre intérêt, qui est loin d'être

10- Tableau comparatif des quantités des solutions étudiées (base et variante).

11- Section du tunnel et sa couverture minimum nécessaire.

12- Profil en long d'un des tunnels de la variante proposée.

10- Comparative table of quantities for the solutions examined (basic and variant).

11- Section of the tunnel and its minimum necessary roof covering.

12- Longitudinal profile of one of the tunnels of the proposed variant.

TABLEAU COMPARATIF DES QUANTITÉS DES SOLUTIONS ÉTUDIÉES (BASE ET VARIANTE)

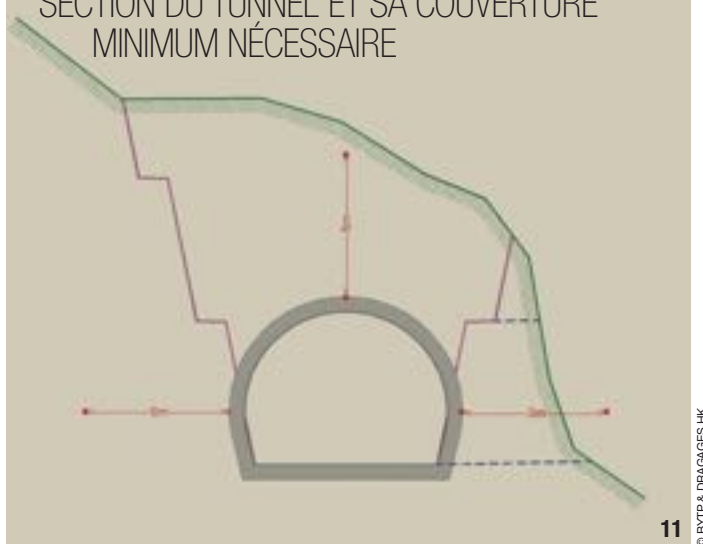
Roads - Comparison		Length			Surface			
N°	Name	Base	V05	Gaps	Base	V05	Gaps	
1	S1	TLL 2.G	2 509	2 569	-30	25 111	22 059	-2 952
2	S2	TLL 2.D	2 623	2 544	-79	23 925	22 445	-1 480
4	EHC2	EHC2	979	981	18	7 642	5 945	-1 697
5	EHC3	E2	528	1 415	141	3 139	7 652	4 513
5	EHC4	E2	746			4 479		
6	S02_2	S1	754	561	-193	5 813	3 485	-2 328
8	S03	S1	553		-553	3 691		-3 691
7	S02_2	E1	888	1 365	477	6 866	7 945	1 079
9	S04	S2	428	630	202	2 869	3 284	415
10	S05	TC	285	405	120	1 726	3 503	1 777
11	E01	CE*	171	1 129	1 058	1 076	7 472	6 396
TOTAL			10 514	11 512	998	86 535	83 850	-2 685

* CE = Access road to West Ventilation building

10

© BYTP & DRAGAGES HK

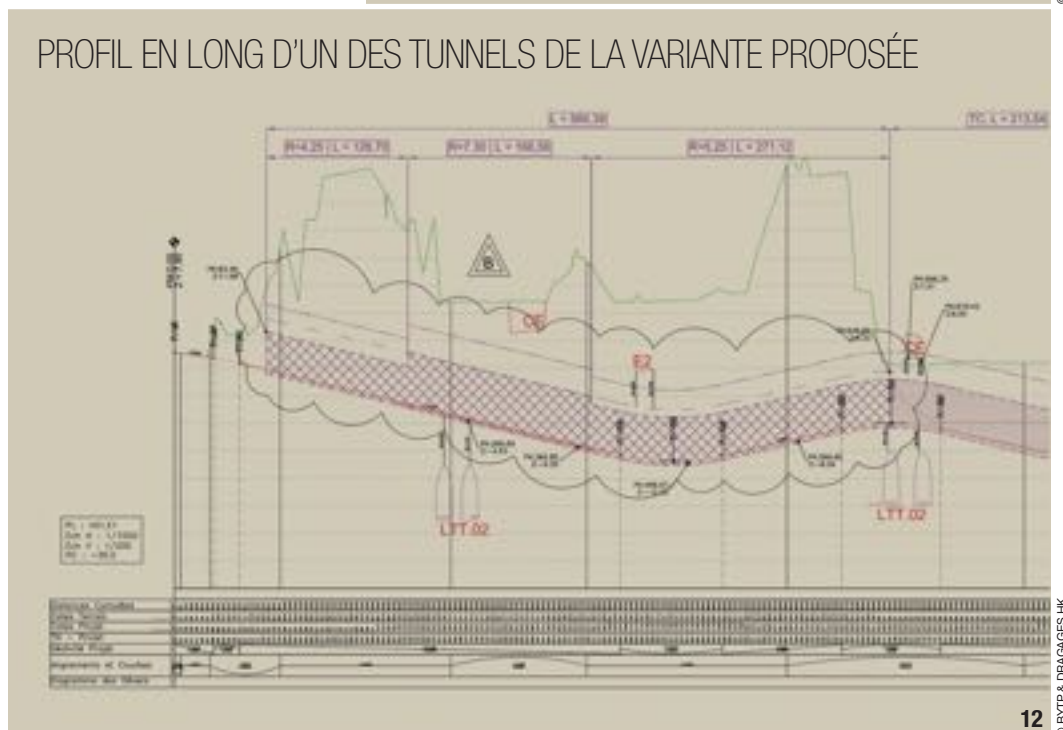
SECTION DU TUNNEL ET SA COUVERTURE MINIMUM NÉCESSAIRE



11

© BYTP & DRAGAGES HK

PROFIL EN LONG D'UN DES TUNNELS DE LA VARIANTE PROPOSÉE



12

© BYTP & DRAGAGES HK

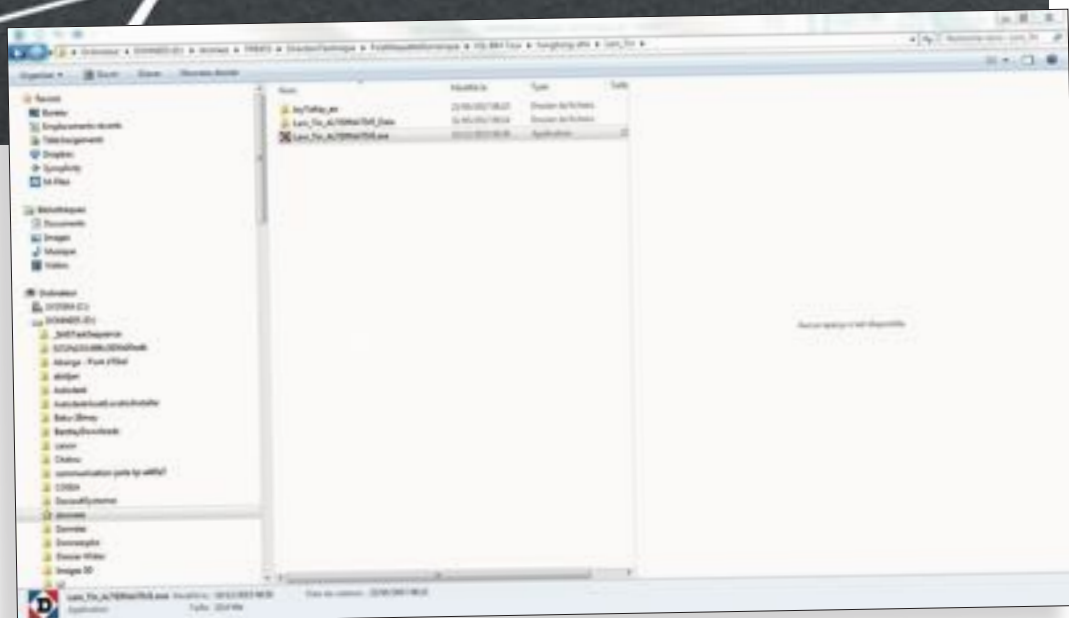


© BYTP & DRAGAGES HK

13

13- Une animation de la circulation des véhicules (réalisée dans le logiciel Unity).

13- Animated view of vehicle traffic (executed in the Unity software program).



LE BILAN

D'une façon générale, la conception en 3D pour ce genre de projet particulièrement imbriqué semble absolument indispensable par la vision commune et donc le confort qu'elle procure.

Elle garantit des quantités justes et une maîtrise de l'espace pourtant restreint. Sans compter que chaque objet modélisé en 3D est immédiatement intégré aux vues en 2D, ce qui contribue immédiatement à la définition des profils en long et des coupes en travers.

Pour preuve, il suffit de regarder un extrait d'un des profils en longs de la figure suivante, où l'on peut rencontrer tous les objets présents sur le cheminement de l'alignement (en particulier les croisements et les raccordements avec les autres tubes) (figure 12).

Une possibilité complémentaire de la modélisation complète de la zone du projet serait de créer des animations automatiques de circulation dans l'échangeur pour remplacer les traditionnels plans de circulation qui doivent être remis à jour à chaque itération ou à chaque modification du tracé.

Ce travail a été réalisé en fin de conception pour montrer la pertinence de cette variante (mais pas à chaque itération, étant donné le temps nécessaire pour ce développement), mais aussi pour vérifier l'ensoleillement des bretelles d'accès au cours de la journée (figure 13).

Concernant les enjeux environnementaux devant être mis en avant, il aurait fallu réaliser une solution infographique pour être plus pertinent et

démonstratif. Malheureusement, le court délai imparti n'a pas permis de le finaliser.

Le modèle 3D paramétrique a surtout servi aux techniciens pour concevoir et optimiser la variante. Elle n'a pas été agrémentée des aménagements paysagers indispensables pour une concertation publique ou avec des décideurs, plus sensibles au rendu final qu'à la technique pure.

CONCLUSION

La proposition alternative étudiée et présentée ici a été défendue devant les autorités locales hongkongaises. Elle n'a malheureusement pas été retenue pour 2 raisons principales :

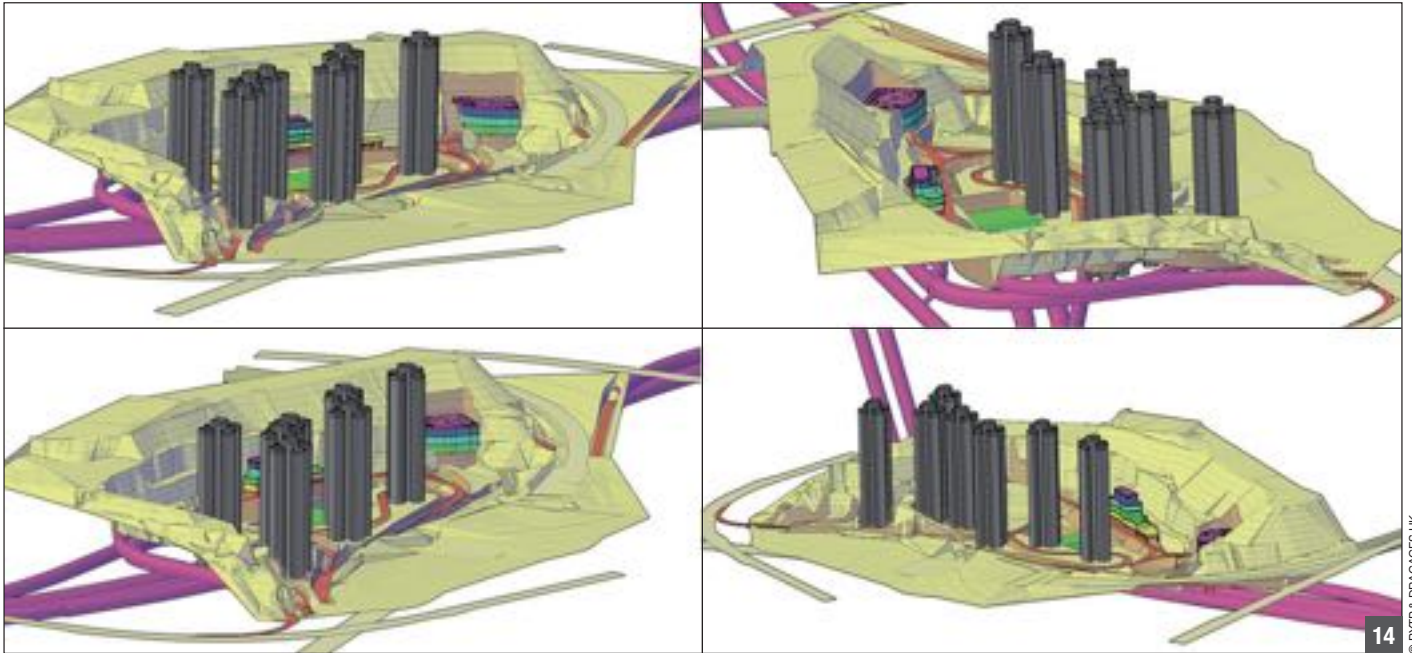
→ Le manque de temps pour la reprise complète des études, avec un déca-

lage de démarrage du projet de 6 mois, même si la date de livraison du projet restait inchangée ;

→ Le dépassement des emprises en sous-sol, même si aucune raison technique ne s'y opposait.

Bouygues Travaux Publics a malgré tout été félicité pour cette solution alternative innovante qui permettait de s'affranchir de l'échangeur aérien et donc de proposer une solution technique et environnementale bien plus performante que la solution de base.

Ce travail a mobilisé plusieurs ingénieurs techniques et commerciaux autour d'un même projet ambitieux. La modélisation paramétrique a démontré la puissance des outils disponibles à ce jour, qui deviennent de plus en plus complexes et qui nécessitent ▷



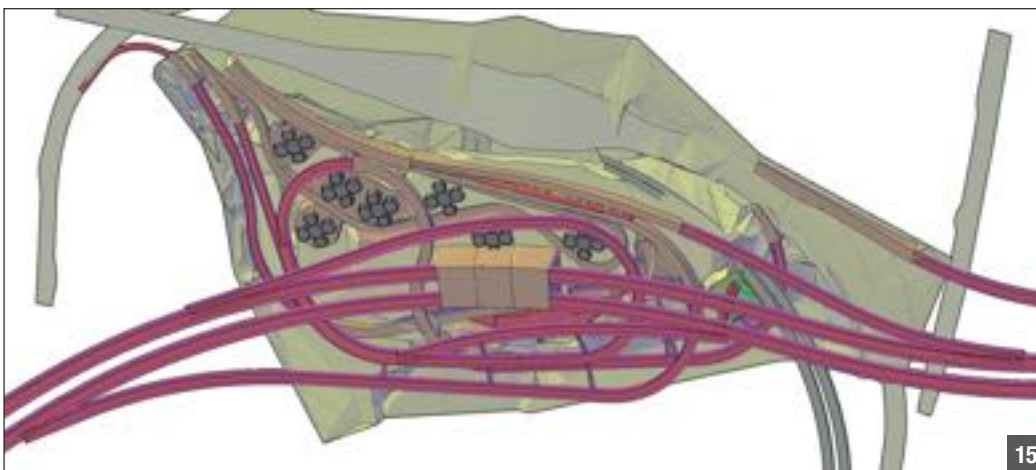
14 © BYTP & DRAGAGES HK

donc des compétences poussées : compétences métier pour maîtriser les normes de la conception, et compétences informatiques pour maîtriser la programmation spécifique des logiciels utilisés.

Cette étude montre surtout comment la confiance peut s'installer au sein d'une équipe technico-commerciale qui s'affaire autour d'une même vision partagée d'une solution en gestation. Mais aussi comment cette confiance

peut s'instaurer avec un maître d'ouvrage dont le projet initial est entièrement remis en cause, grâce à des simulations paramétriques cohérentes et parfaitement maîtrisées (figures 14 et 15). □

14- Perspectives montrant le nouvel échangeur et l'insertion des bâtiments.
15- Vue de dessous montrant les fondations des bâtiments en interface avec la densité des axes de l'échangeur.



15 © BYTP & DRAGAGES HK

14- Perspective views showing the new interchange and integration of the buildings.
15- Bottom view showing the building foundations interfacing with the density of the interchange arteries.

ABSTRACT

LAM TIN TUNNEL IN HONG KONG - AN ECODSIGN ALTERNATIVE

CLAUDE FOLEY, BOUYGUES - OLIVIER MARTIN, BOUYGUES

The Lam Tin Tunnel is one of the many road projects in Hong Kong having to be integrated into an extremely constrained urban environment. The engineering department of Bouygues Travaux Publics proposed a variant very different from the basic solution, in order to improve the efficiency of the alignment and significantly reduce quantities, but also, and above all, to introduce new building and landscaped areas for optimal environmental integration. By using parametric numerical simulations it was possible to optimise this variant iteratively, taking into account the many constraints related to the building stock and the existing road network. □

EL TÚNEL DE LAM TIN EN HONG KONG - UNA ALTERNATIVA DE ECODISEÑO

CLAUDE FOLEY, BOUYGUES - OLIVIER MARTIN, BOUYGUES

El túnel de Lam Tin es uno de los numerosos proyectos viales de Hong Kong que deben integrarse en un contexto urbano particularmente restrictivo. La dirección técnica de Bouygues Travaux Publics ha propuesto una variante muy distinta de la solución básica para mejorar la eficiencia del trazado, reducir significativamente las cantidades y, sobre todo, aportar nuevas superficies edificables y paisajísticas para una mejor inserción medioambiental. El uso de simulaciones digitales paramétricas ha permitido optimizar repetidamente esta variante, teniendo en cuenta numerosas restricciones relacionadas con la construcción y la red vial existente. □



**PRO BTP,
LE MEILLEUR DE LA
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ

PRÉVOYANCE

RETRAITE

ÉPARGNE

ASSURANCES

ACTION SOCIALE

VACANCES

 **PRO BTP**
GROUPE



BIM-IFC

intégration des logiciels
Mensura VRD au BIM

EXPORT 3D

exportation des scènes 3D
vers les formats SKP, DAE
(objets et matériaux)

BIMétré

Échange de fichiers
entre les logiciels de devis,
mètres et CAO

TO BIM OR NOT TO BIM ?

Avec les progiciels métiers
MENSURA, la question
ne se pose pas.

Le BIM est l'affaire de tous, parlons-en !

Exposant BATIMAT 2017
Hall 5A, allée P, stand 124



NOUVELLE VAGUE - Crédits photos : Frank



www.geomensura.fr
contact@geomensura.com

Tél. +33 (0)2 40 16 92 60