

---

# Modélisation 3D BIM multi-échelle d'un projet BTP Tunnel

Sirong MAO<sup>1</sup>, Jean-Lou LEBRUN<sup>2</sup>, Omar DOUKARI<sup>2</sup>, Rahim AGUEJDAD<sup>3</sup>, Yong YUAN<sup>1</sup>

1. Faculté de l'Ingénierie Géotechnique, l'Université Tongji, 200092, Shanghai, Chine

maosirong@hotmail.com

yuany@tongji.edu.cn

2. Institut de Recherche en Constructibilité, ESTP Paris, 94234, Cachan, France

odoukari@estp-paris.eu

3. Laboratoire Image, Ville, Environnement UMR7362, 67000, Strasbourg, France

rahim.aguejdad@live-cnrs.unistra.fr

---

*RESUME.* Le secteur du BTP a connu, ces dernières années, une nouvelle manière de modéliser un projet à travers la maquette numérique, ou le BIM. Ce dernier facilite la communication et la collaboration entre les différents acteurs du projet, particulièrement pour les grands projets avec une géométrie complexe.

Inspirés de la notion de co-conception, notre travail consiste principalement à mieux structurer la maquette 3D BIM multi-échelle pour un projet BTP tunnel en définissant tous ses composants élémentaires ainsi que leurs niveaux de détails. La modélisation multi-échelle permet, entre autres, l'intégration des SIG lors de la phase de conception. Afin de simplifier et rendre plus rapide la modélisation, nous proposons une méthode de décomposition de la maquette globale du projet en plusieurs sous-maquettes ainsi qu'une méthode de fusion des sous-maquettes numériques réalisées par différents acteurs et métiers du projet pour faire la synthèse de la maquette globale.

*ABSTRACT.* In recent years, Building information model (BIM) has been adopted by the construction industry as a new way to design a project through the digital model. BIM helps to simplify the communication and the cooperation between different actors during the project life-cycle, especially for big projects with complex geometry.

Based on the concept of co-design, our aim is to better structure the 3D BIM multi-scale model for a tunnel construction project by defining their basic components with their levels of detail. The multi-scale modeling allows the integration of GIS during the design phase. To simplify the modeling and make it faster, we propose a decomposition method to split up the entire project into several sub-models, and a consistent merging method of digital sub-models made by different actors, in order to build the overall model.

*MOTS-CLE :* BIM, Tunnel, co-conception, famille Revit, modélisation multi-échelle, NdDs.

*KEYWORDS:* BIM, Tunnel, co-design, Revit family, multi-scale modeling, LoDs.

---

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

## 1. Introduction

Dans les pays en pleine croissance comme la Chine, les projets BTP (Bâtiment et Travaux Publics) deviennent de plus en plus complexes pour répondre à la demande d'étalement urbain (Ding et al., 2014). La durée du cycle de vie des projets s'allonge et le nombre de participants ainsi que la quantité d'information échangée augmentent, ce qui rend plus difficile et coûteuse la communication entre les collaborateurs du projet.

Dans ce contexte, la modélisation des données du bâtiment (BIM) est adoptée. Elle permet, à l'aide de la maquette numérique, d'optimiser le processus de conception, d'exécution et de gestion dès les premières étapes du projet. La maquette BIM simplifie la communication en partageant les données entre collaborateurs au sein du même modèle numérique. En conséquence, le BIM améliore la coordination et contribue à éviter les conflits inattendus, les modifications et les retards de planification, donc réduit les dépenses inutiles et permet la plus efficace et durable exécution du projet BTP (Tarandi, 2015 ; Eadie et al., 2013).

Shanghai est l'une des grandes et plus attractives villes en Chine où des infrastructures de transport sont en cours de développement. Le tunnel au bouclier<sup>1</sup> est le type préféré pour construire des nouvelles lignes de transport au centre-ville. Cela est principalement dû à son adaptabilité particulière au sol mou et la haute teneur en eau, qui sont les deux mauvaises conditions géologiques qui caractérisent Shanghai, ainsi qu'une meilleure qualité et un prix très raisonnable de construction (Li et Zhu, 2013 ; Li et Chen, 2012 ; Maeda et Kushiyama, 2005).

La conception d'un projet tunnel peut être facilitée par une nouvelle méthode de collaboration entre métiers, appelée co-conception. Selon cette méthode, les acteurs se retrouvent au début de la phase de conception pour se répartir la modélisation du projet. Ils travaillent chacun de son côté, en parallèle, pour réaliser leurs sous-maquettes. Ensuite, ils se rencontrent pour confronter leurs sous-modèles et faire la synthèse du projet. En nous basant sur cette approche de modélisation, nous proposons deux nouvelles méthodes : une de décomposition des projets en plusieurs sous-projets ou composants, et une méthode de fusion de sous-maquettes permettant de construire la maquette globale.

Par ailleurs, les projets tunnels nécessitent une modélisation multi-échelle, car la prise de décision pour ce type de projets s'effectue sur des parcelles de plusieurs kilomètres aussi bien que sur des détails de quelques centimètres. Cette notion a été initialement proposée dans le cadre des SIG (Oosterom et Schenkelaars, 1995). Les cinq niveaux de détails (NdDs) sont ensuite repris dans le projet CityGML afin de représenter toutes les données de la maquette multi-échelle d'une ville (Kolbe, 2008). Une adaptation pour la modélisation 3D d'un projet tunnel a également été proposée dans (Borrmann et al., 2013).

---

1. Tunnel construit avec un tunnelier, dont le processus de percement est automatique.

Cet article est organisé comme suit. La section 2 présente l'organisation de la maquette 3D BIM multi-échelle d'un projet tunnel au bouclier. Nous introduisons tous les composants élémentaires ainsi que leurs niveaux de détails et précisons les différents types d'informations modélisées dans la maquette BIM. La section 3 présente une méthode de décomposition de la maquette globale d'un projet tunnel au bouclier en plusieurs sous-maquettes. La section 4 propose une méthode de fusion cohérente des sous-maquettes numériques, avant de conclure en section 5.

## **2. Organisation de la modélisation 3D BIM multi-échelle d'un projet tunnel**

### ***2.1. BIM est une révolution et tendance inévitables pour les projets tunnel***

L'approche BIM est apparue depuis les années 90 (Nederveen et Tolman, 1992) permettant de représenter un projet bâtiment sous forme d'une maquette numérique en 3 dimensions comprenant toutes les informations pertinentes tout au long du cycle de vie du projet. Tous les plans, vues, perspectives et coupes sont établis à partir de la maquette BIM. Lorsque cette maquette est modifiée, les dessins et les données qui lui sont liées sont automatiquement modifiés. Elle est désormais de plus en plus employée en phase de conception et construction, et s'étend à la phase d'exploitation. Considéré comme l'une des grandes tendances du secteur de la construction, le BIM s'étend du projet Bâtiment aux infrastructures urbaines comme pour les projets tunnels dans les dernières années.

Quant aux tunnels de transport, leur construction est généralement irréversible. De ce fait, une meilleure planification est impérative. Cependant, leur entrecroisement au-dessous de la ville rend compliquée la planification de nouvelles lignes et exige une meilleure exploitation de celles existantes. Très efficace dans le domaine du Bâtiment (Takim et al., 2013), la maquette BIM s'avère un futur inévitable pour répondre à ces besoins.

### ***2.2. Différents niveaux de détail de la maquette d'un projet tunnel au bouclier***

Le domaine des infrastructures, à cause de ses spécificités, n'as pas évolué de la même manière que celui du Bâtiment. La prise de décision pour ce type de projets s'effectue à l'échelle de plusieurs kilomètres aussi bien qu'à l'échelle de quelques centimètres par exemple des assemblages des boulons, d'où une modélisation multi-échelle s'impose.

Inspirés des recherches menées par Borrmann (Borrmann et al., 2013) sur la modélisation 3D multi-échelle (Figure 1), nous proposons une méthode d'organisation d'un projet tunnel au bouclier en phase de conception, en fonction de 5 niveaux de détails (NdDs).

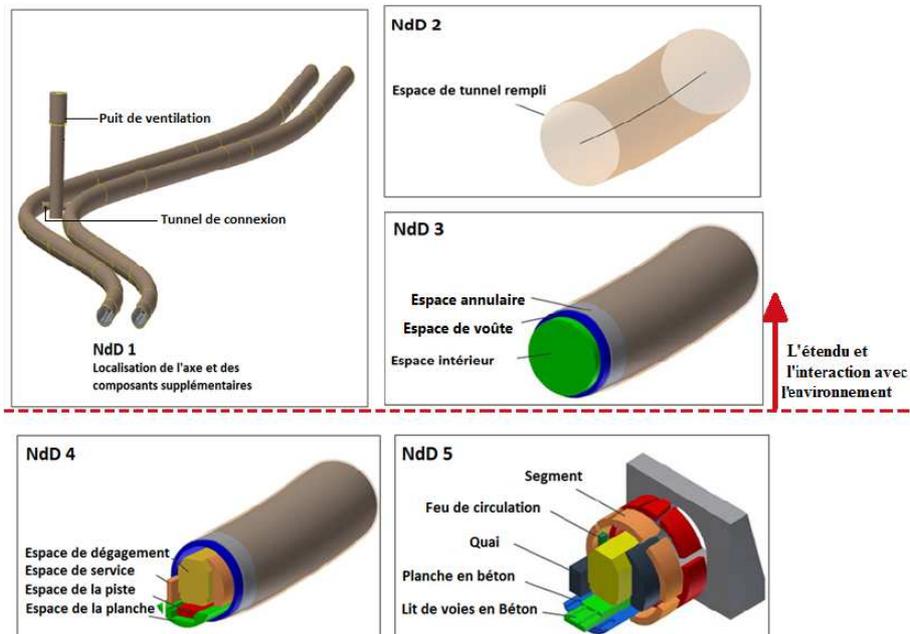


Figure 1. Les 5 NDDs d'un projet tunnel au bouclier

Nous proposons d'entamer la conception du projet par une représentation globale nommée NdD 1, où on précise les axes sur lesquels des composants supplémentaires seront fixés (tunnels de connexion, des puits de ventilation...). Aucune information sémantique ne se présente à ce niveau. Au NdD 2, la conception s'effectue séparément sur chacun des composants précédents. Par exemple, l'espace total du composant principal (Figure 1, NdD 2) est représenté par un volume solide placé autour de son axe. Au niveau suivant, l'espace du tunnel se divise en trois parties (Figure 1, NdD 3), la conception de la voûte et celle des composants intérieurs se séparent à partir de ce niveau. La conception lors des trois premiers niveaux de détails est consacrée à l'étendu du projet et son interaction avec l'environnement.

Perfectionnant le quatrième niveau de Borrmann, nous détaillons l'espace intérieur en quatre petits espaces, selon une décomposition fonctionnelle. Par exemple, l'espace de service est réservé pour des composants élémentaires de type : circulation, sécurité, communication etc., qui fournissent des services essentiels. La modélisation des différents sous-espaces peut s'effectuer parallèlement, ce qui marque le début de la conception distribuée des métiers. Au niveau le plus détaillé, NdD 5, où s'effectue la conception métiers, l'espace de voûte est détaillé jusqu'aux segments (Figure 1, NdD 5). Les espaces sont complétés par des objets concrets (feux de circulation, quai, planches...). A ce niveau, le projet est complètement défini.

2.3. Définition des composants élémentaires de la maquette BIM multi-échelle

Sur la base des 5 NdDs, nous structurons la maquette BIM en définissant ses composants élémentaires (Figure 2). La voûte et l'espace intérieur sont les parties les plus importantes lors de la conception. La première représente l'interface avec toutes les forces extérieures afin de soutenir la forme du tunnel et la deuxième représente la partie fonctionnelle du projet. Notre travail se consacre principalement à ces deux parties.

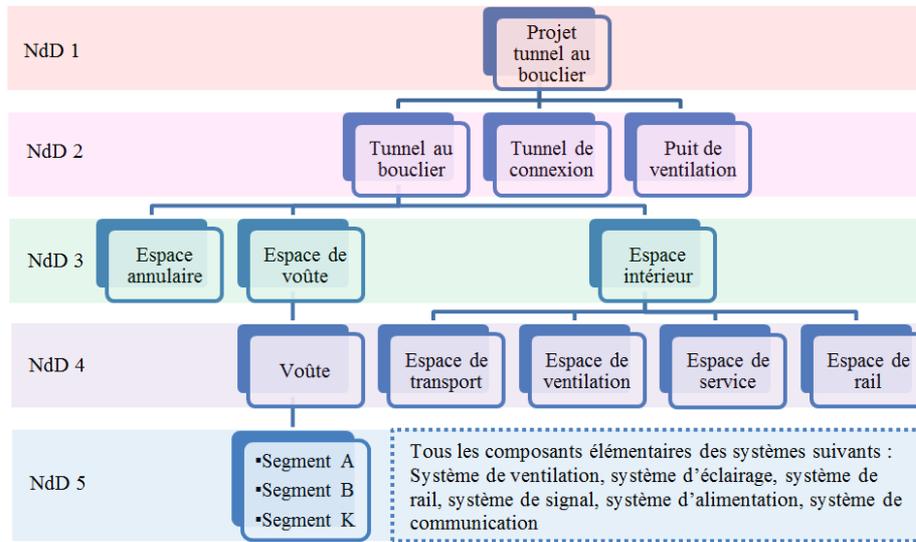


Figure 2. Structure de la maquette BIM multi-échelle d'un projet tunnel au bouclier

A Shanghai, la voûte d'un tunnel au bouclier se compose de plusieurs cercles qui sont généralement de 1,2m de large. Chaque cercle comprend trois types de segments : un segment K également nommé la clef de voûte, deux segments B qui sont adjacents au premier, et le reste des segments sont des segments A (Figure 3). Le nombre des segments par cercle varie selon le diamètre du tunnel.

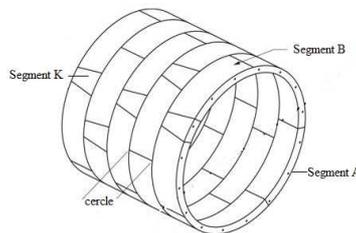


Figure 3. La voûte d'un tunnel au bouclier et les segments K, B et A

Nous modélisons d'abord les trois types de segments sous Autodesk Revit 2014, un logiciel BIM utilisé pour des projets Bâtiments (Shoubi et al., 2015). Ce choix est justifié par le manque de logiciels de modélisation spécialisés en tunnel. Les segments K, B et A sont définis avec les paramètres communs, comme le diamètre, l'épaisseur et la largeur, ainsi qu'un paramètre respectif s'appelle : angle au centre. Ensuite, les segments sont assemblés afin de créer la famille d'objets cercle. Nous créons après l'axe du tunnel sur lequel nous plaçons des cercles pour définir deux familles de tunnels : tunnel en virage et tunnel linéaire (Figure 4).

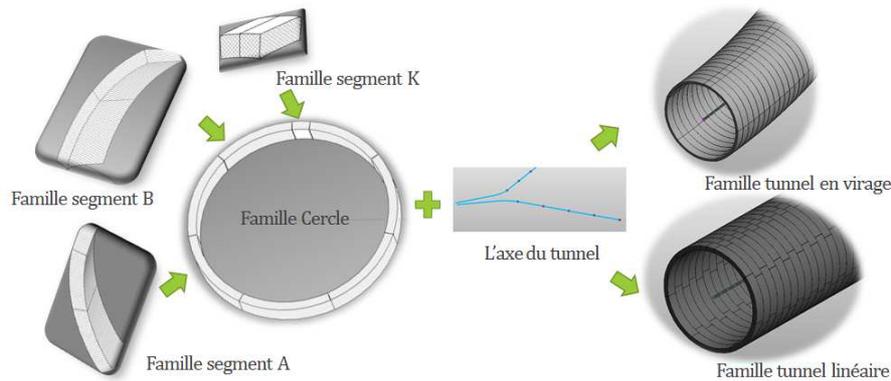


Figure 4. Processus de création des composants élémentaires de la voûte d'un tunnel au bouclier sous Autodesk Revit 2014

Quant à l'espace intérieur, il contient tous les composants élémentaires des différents systèmes fonctionnels. Nous pouvons regrouper ces composants, selon leur localisation, en plusieurs espaces, ce qui permet de définir une nouvelle méthode de collaboration entre les acteurs du projet (voir section 3). Un exemple des composants élémentaires du NdD 5 pour un tunnel ferroviaire<sup>2</sup> est donné par Tableau 1. Les six systèmes nécessaires pour réaliser un tunnel peuvent se regrouper en quatre espaces différents : un espace de transport, un espace de ventilation, un espace de service et un espace de rail.

Tableau 1. Composants élémentaires de l'espace intérieur d'un tunnel ferroviaire

NdD 4	→	NdD 5
Espaces fonctionnels	Systèmes fonctionnels	Composants élémentaires
	Système de signal	Caméra de surveillance du trafic, lampes-signal

2. Tunnel pour passage d'une ligne de chemin de fer.

Espace de transport	Système d'alimentation (type par Lignes aériennes de contact)	Lignes aériennes de contact, système de support pour des lignes suspendues
Espace de ventilation	Système de ventilation	Ventilateurs
Espace de service	Système d'éclairage	Lumières
	Système de signal	Caméra de surveillance du trafic, radio trafic
	Système de communication	Téléphone d'urgence, boutons d'alarme, extincteurs, issues de secours, capteurs, centre de contrôle-commande, détection automatique d'incident, détection d'incendie/ de fumée, radio trafic
Espace de rail	Système de rail	Rail, joints de rail, attaches/boulons, cravate plaques, traverses, ballast, tapis socle
	Système de signal	Capteurs, câbles
	Système d'alimentation (type Alimentation Par le Sol)	Un ensemble de conducteurs d'électricité entre/ à côté des rails de roulement, ou sous le frotteur de véhicule

### 2.3. Types des données modélisées dans la maquette BIM d'un projet tunnel

La maquette BIM est plus qu'une modélisation 3D, elle optimise le processus du projet en structurant une grande quantité de données, venant de tous les métiers et toutes les étapes du projet. En conséquence, une base riche de données distingue la maquette BIM des autres modélisations basées uniquement sur la 3D.

Basés sur les recherches de Li et Zhu (Li et Zhu 2013), nous proposons de classer toutes les données en deux grandes catégories. La première catégorie contient des données sur la géométrie et des informations caractéristiques du tunnel. Par exemple, au NdD 1, on trouve les coordonnées des points d'extrémités, le kilométrage du projet... tandis que pour la voûte au NdD 4, on trouve des données plus détaillées comme le nombre, le type, l'épaisseur et la largeur des cercles (Figure 5). La plupart des données de ce type est définie en phase de conception du projet.

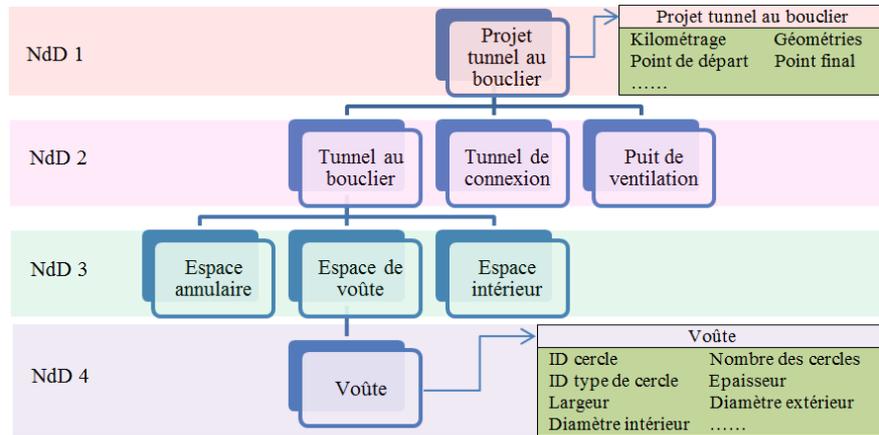


Figure 5. Première catégorie des données : Géométries et caractéristiques du tunnel

Par ailleurs, toutes les données concernant l'exécution, l'état de service et la propriété du projet, appartiennent à la deuxième catégorie. Avec l'avancement du projet, ce type de données est sujet à plusieurs modifications (Figure 6).

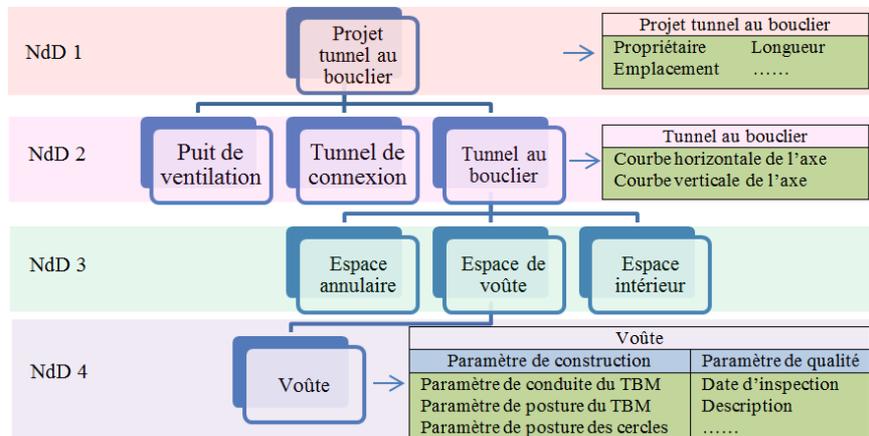


Figure 6. Deuxième catégorie de données en phase de construction<sup>3</sup>

Cette section nous a permis de structurer la maquette BIM en fonction des 5 NdDs et préciser les deux types de données à modéliser. La section suivante

3. TBM (Tunnel Boring Machine) : le tunnelier.

introduit une nouvelle méthode de conception des tunnels par décomposition de la maquette BIM en plusieurs sous-maquettes.

### 3. Conception BIM d'un projet tunnel par décomposition

#### 3.1. Co-conception : nouvelle méthode de conception pour les grands projets

La co-conception consiste à découper le processus de conception en plusieurs étapes avec autant de sessions de synthèse, lors desquels les acteurs se retrouvent pour confronter leurs avancées et se répartir le travail pour les prochaines phases. Entre deux sessions de co-conception (Figure 7), les acteurs travaillent chacun de leur côté dans des phases de conception dites distribuées.

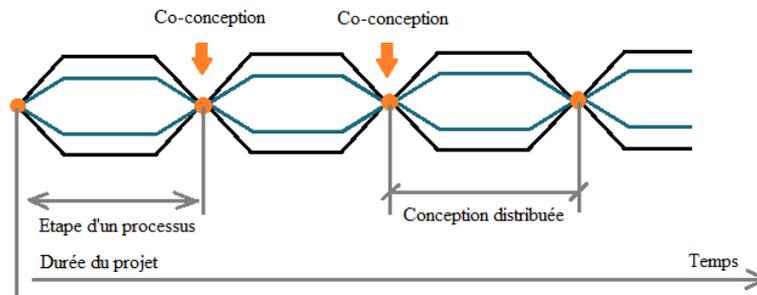


Figure 7. Co-conception : une nouvelle méthode de collaboration

#### 3.2. Méthode de décomposition de la maquette BIM d'un projet tunnel

Basée sur la conception distribuée, notre méthode vise à faciliter la conception de l'espace intérieur, l'une des parties les plus importantes du tunnel. On commence par une maquette globale prise au niveau de détails 4, où on définit les espaces fonctionnels. Ensuite, on affecte ces espaces aux différents métiers et acteurs. Lors de la conception distribuée, chaque acteur crée les composants élémentaires de sa partie en réalisant sa sous-maquette au NdD 5 (Figure 8). Ainsi, tous les objets élémentaires nécessaires sont définis par leur métier correspondant. En fin, pour obtenir la maquette BIM globale du projet, on n'a qu'à fusionner toutes les sous-maquettes (voir section 4).

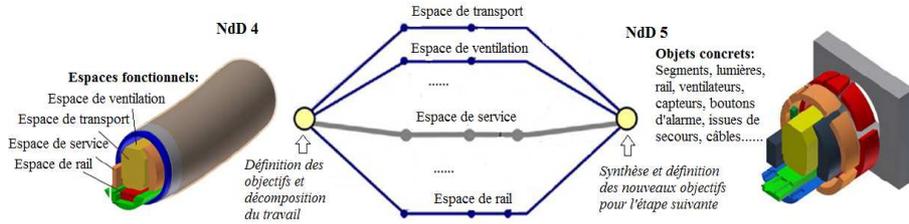


Figure 8. Méthode de décomposition fonctionnelle d'un projet tunnel

Nous allons expliquer la méthode par un exemple de tunnel ferroviaire.

Tableau 2. Composants élémentaires de l'espace intérieur d'un tunnel ferroviaire

NdD 4	Conception distribuée		NdD 5
Espaces fonctionnels	Systèmes fonctionnels	Espaces distribués	Composants élémentaires
Espace de transport	Système de signal	Espace de transport	Objets élémentaires
		Espace de service	
Espace de ventilation	Système d'alimentation	Espace de rail	
		Espace de transport (type par Lignes aériennes de contact)	
Espace de service	Système de ventilation	Espace de rail (type Alimentation Par le Sol)	
		Espace de ventilation	
Espace de rail	Système d'éclairage	Espace de service	
		Système de communication	Espace de service
		Système de rail	Espace de rail

Au début de la conception, tous les acteurs des différents métiers se réunissent pour définir les objectifs et se partager les quatre espaces fonctionnels. L'espace intérieur d'un tunnel ferroviaire est composé de six systèmes fonctionnels (Tableau 2). Chaque système est géré par un métier spécifique. Par exemple, l'entrepreneur ferroviaire se charge du système de rail ; on lui affecte donc cet espace. A ce rythme, chaque métier s'occupe de ses espaces spécifiques et crée ses sous-maquettes en définissant les objets élémentaires du NdD 5.

#### 4. Méthode de fusion des sous-maquettes sous Autodesk Revit 2014

En raison de sa grande réussite pour la modélisation BIM des projets Bâtiment, nous avons choisi le logiciel Autodesk Revit pour illustrer notre méthode de fusion.

##### 4.1. Création des familles Revit pour un projet tunnel au bouclier complet

Comme mentionné dans la Figure 4, nous avons créé, sous Revit, des familles de segments, de voûte... jusqu'aux familles tunnel linéaire et en virage. La Figure 9 présente toutes les familles Revit que nous avons créées pour un projet tunnel au bouclier. Les composants des NdDs 2 et 3 peuvent être considérés soit comme une famille, soit comme un sous-projet, tout dépend de la complexité et l'échelle du projet global. Faute de temps, nous avons créé uniquement une partie des composants de chaque NdD. Cependant, l'absence de certains composants élémentaires n'affectera en rien nos résultats de fusion des sous maquettes BIM.

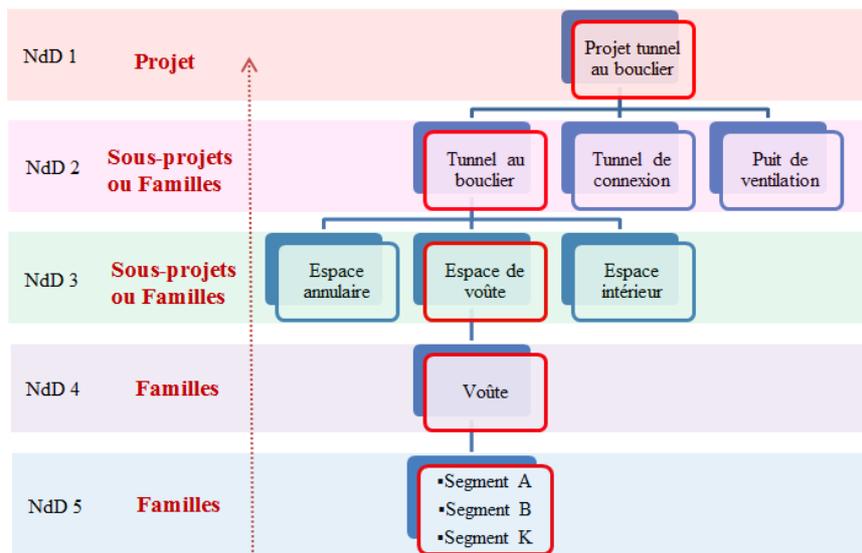


Figure 9. Création des composants de tous les NdDs pour réaliser un projet tunnel complet sous Autodesk Revit 2014

Pour un projet Carrefour reliant un grand tunnel routier avec deux autres petits tunnels, nous créons d'abord l'axe, ensuite les cinq parties constitutives séparément (Figure 10). Au point de la jonction des trois tunnels, le projet est réalisé à l'aide d'une pelle mécanique à la place de tunnelier (Wang et al., 2012). En conséquence, nous créons de nouvelles familles spécifiques en plus des voûtes habituelles. Les cinq parties peuvent être facilement rassemblées grâce à l'axe commun du projet.

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

Enfin, nous réalisons le modèle complet du projet comprenant des composants des 5 NdDs.

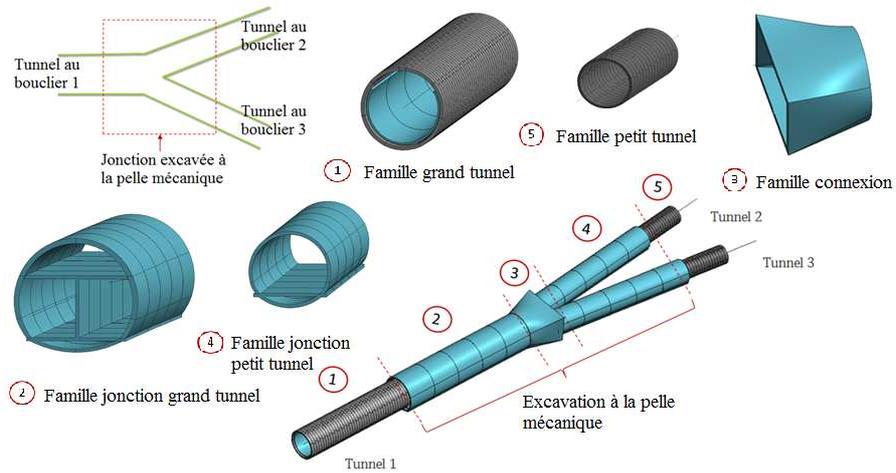


Figure 10. Modélisation d'un projet Carrefour sous Autodesk Revit 2014

#### 4.2. Maquette numérique globale reliant plusieurs sous-projets tunnel

Dans le cas des grands projets complexes, la fusion des sous-maquettes ne s'arrête pas au niveau des familles. Elle consiste également à relier des sous-projets.

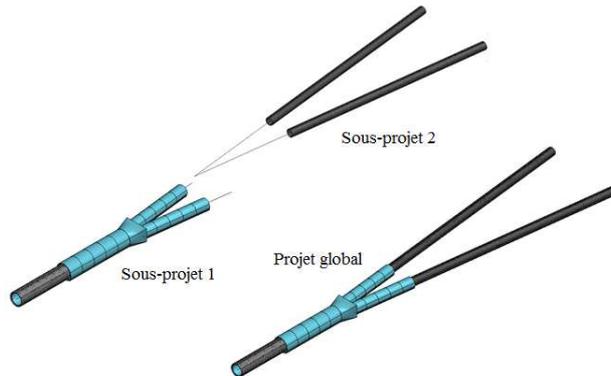


Figure 11. Fusion des sous-projets sous Autodesk Revit 2014

Supposons que les deux petits tunnels s'étendent sur une longue distance depuis la jonction. Dans ce cas, nous créons un projet indépendant pour cette partie, ce qui fait deux projets à fusionner pour obtenir la maquette globale du projet (Figure 11).

Notre méthode de fusion est basée sur la création d'un « axe commun » pour tous les sous-projets. Cet axe est déterminé par tous les acteurs ensemble avant d'entamer la phase de conception distribuée. Ensuite, il est découpé en plusieurs morceaux que l'on doit affecter aux différents acteurs avec les sous-maquettes à modéliser. Tous ces morceaux doivent par contre rester dans le même système de coordonnées. Lors de la conception distribuée, les sous-projets sont réalisés sur la base de ces morceaux. La fusion des sous-projets s'effectue, par la suite, en définissant un projet principal parmi les sous-projets, puis y attacher tous les autres, un par un, comme des « liens » (sous Autodesk Revit, appelés « Lien Revit ») avec l'option « origine à origine » activée. De cette manière, tous les sous-projets apparaissent dans le même projet et la fusion se réalise de façon cohérente grâce à la continuité de l'axe commun du projet.

## 5. Conclusion

Dans cet article, une nouvelle méthode de collaboration en phase de conception est introduite pour faciliter et accélérer le processus de modélisation 3D BIM pour un projet tunnel. Nous avons d'abord structuré la maquette multi-échelle en définissant tous ses composants élémentaires en précisant les différents niveaux de détails correspondant ainsi que les types de données modélisées. Un exemple de tunnel ferroviaire stipule la définition des espaces et systèmes fonctionnels dans un cas réel. Ensuite, une méthode de décomposition de la maquette globale basée sur les espaces fonctionnels d'un tunnel au bouclier est introduite. En fin, une méthode de fusion cohérente des sous-maquettes numériques est proposée et illustrée sur un projet Carrefour sous Autodesk Revit 2014. Dans un futur proche, nous comptons enrichir davantage l'information modélisée dans la maquette BIM pour faciliter la gestion et la maintenance du tunnel lors de la phase d'exploitation.

## Remerciements

Les auteurs vaudraient remercier la Société Armélio (ENVIRPROD SAS), Société de gestion de la production industrielle, consulting innovation, d'avoir financé ce travail de recherche.

## Bibliographie

Biljecki F., Ledoux H., Stoter J., Zhao J. (2014). Formalisation of the level of detail in 3D city modelling. *Computers, Environment and Urban Systems* 48 (2014), p. 1-15.

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

- Borrmann A., Flurl M., Jubierre J. R., Mundani R., Rank E. (2014). Synchronous collaborative tunnel design based on consistency-preserving multi-scale models. *Advanced Engineering Informatics* 28 (2014), p. 499-517.
- Borrmann A., Kolbe T. H., Donaubauer A., Steuer H., Jubierre J. R., Flurl M. (2014). Multi-scale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Wiley.
- Ding L., Zhang L., Wu X., Skibniewski M. J., Yu Q. (2014). Safety management in tunnel construction: Case study of Wuhan metro construction in China. *Safety science*, vol. 62, p. 8-15.
- Eadie R., Browne M., Odeyinka H., McKeown C., McNiff S. (2013). BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis. *Automation in Construction*, vol. 36, p. 145-151.
- Jubierre J.R., Borrmann A. (2013). Cross-submodel consistency preservation in multi-scale engineering models.
- Lee G., Sacks R., Eastman C. M. (2006). Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. *Automation in Construction* 15 (2006), p. 758-776.
- Li X., Chen X. (2012). Using grouting of shield tunneling to reduce settlements of overlying tunnels: case study in Shenzhen metro construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, n° 4, p. 574-584.
- Li X., Zhu H. (2013). Development of a web-based information system for shield tunnel construction projects. *Tunnelling and Underground Space Technology* 37 (2013), p. 146-156.
- Morin E. (2006). *Modélisation d'un réseau électrique de tramway: du composant au système*, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011960>
- Maeda M., Kushiyama K. (2005). Use of compact shield tunneling method in urban underground construction. *Tunneling and underground space technology*, vol. 20, n° 2, p. 159-166.
- Nederveen G.A., Tolman F.P. (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, vol. 1, n° 3, p. 215-224.
- Obergriber M., Euringer T., Borrmann A., Rank E. (2011). Integration of geotechnical design and analysis processes using a parametric and 3D-model based approach.
- Oosterom P., Schenkelaars V. (1995). The development of an interactive multi-scale GIS. *International Journal of Geographical Information Systems* 9, p. 489-507.
- Shoubi M.V., Bagchi A., Barough A. S. (2015). Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 6, n° 1, p. 41-55.
- Succar B., Kassem M. (2015). Macro-BIM adoption: Conceptual structures. *Automation in Construction*, vol. 57, p. 64-79.
- Takim. R., Harris M., Nawawi A. H. (2013). Building Information Modeling (BIM) : A new paradigm for quality of life within Architectural, Engineering and Construction

(AEC) industry. *AMER International Conference on Quality of Life 2013*, Langkawi, Malaysia.

Tarandi V. (2015). A BIM collaboration lab for improved through life support. *Procedia Economics and Finance*, vol. 21, p. 383-390.

Université Numérique Ingénierie et Technologie (unit). (2012). *Cours BIM*, [http://www.unit.eu/cours/bim/u09/co/u09\\_080\\_9-6-1.html](http://www.unit.eu/cours/bim/u09/co/u09_080_9-6-1.html)

World Road Association (PLARC). *Road tunnels manual*, <http://tunnels.piarc.org/tunnels/ressources/3/257,Chap-8-Equipment-and-systems-EN-v-21.pdf>