



HAL
open science

Modèle conceptuel pour la structuration de l'information en conception d'infrastructures

Charles-Edouard Tolmer, Christophe Cc Castaing, Denis Dm Morand, Youssef Yd Diab

► To cite this version:

Charles-Edouard Tolmer, Christophe Cc Castaing, Denis Dm Morand, Youssef Yd Diab. Modèle conceptuel pour la structuration de l'information en conception d'infrastructures. Rencontres Universitaires de Génie Civil, May 2015, Bayonne, France. hal-01167727

HAL Id: hal-01167727

<https://hal.science/hal-01167727>

Submitted on 24 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Modèle conceptuel pour la structuration de l'information en conception d'infrastructures

C-E TOLMER^{1,2}, C CASTAING², D MORAND¹, Y DIAB^{1,3}

¹ Lab'Urba, équipe Génie Urbain, Université Paris Est Marne-La-Vallée, Bâtiment Lavoisier, rue Galilée 77 420 Champs-sur-Marne, France (charles-edouard.tolmer@u-pem.fr ; denis.morand@u-pem.fr ; youssef.diab@u-pem.fr)

² Egis, 15 avenue du Centre CS 20538 Guyancourt 78 286 Saint-Quentin-en-Yvelines Cedex, France (charles-edouard.tolmer@egis.fr ; christophe.castaing@egis.fr)

³ École des Ingénieurs de la Ville de Paris (EIVP), Université Paris Est, 80 rue Rébeval, 75 019 Paris, France (youssef.diab@eivp-paris.fr)

RÉSUMÉ. Malgré la disponibilité de plusieurs standards pour la modélisation de projets urbains ou d'infrastructures, l'interopérabilité est loin d'être optimale et l'exécution de processus de travail collaboratif reste lourde à mettre en place au sein de la production telle qu'organisée actuellement. Nous proposons ici un modèle conceptuel de données qui utilise des concepts portant à la fois sur la géométrie et la sémantique des objets en partant des besoins des acteurs du projet. Nous décrivons pour cela les contextes et niveaux d'abstraction dont ils ont besoin pour prendre leurs décisions et effectuer leurs choix techniques. Nous proposons donc une approche complémentaire aux concepts de Level Of Detail de CityGML et de Level Of Development des IFC afin d'utiliser ces deux concepts de manière cohérente au travers de BIM Use spécifiques. Cette proposition de modèle conceptuel est expérimentée sur un projet de d'autoroute urbaine en Partenariat Public Privé (PPP) : projet A507 à Marseille, actuellement en étude et en construction.

ABSTRACT. Despite the availability of several standards for modeling urban projects or infrastructures projects, interoperability is far from optimal and execution of collaborative work process remains cumbersome to implement in production as currently organized. In this paper, we propose a conceptual data model that uses both concepts of geometry and semantics of objects structuration based on the needs of the project stakeholders. We describe describing contexts and levels of abstraction that they need to make their decisions or make technical choices. Therefore, we propose a complementary approach to the concepts of Level Of Detail and Level Of Development, used in CityGML and for IFC, through specific BIM Use. This proposed conceptual model is experienced on the A507 project in Marseille, Public Private Partnership for expressways currently in design and construction.

MOTS-CLÉS : modèle conceptuel, modélisation, infrastructure, LOD, BIM use.

KEYWORDS: conceptual model, modeling, infrastructure, LOD, BIM use

1. Introduction : modéliser aujourd'hui les projets d'infrastructures

1.1. Des univers complexes à concevoir et à modéliser

Les projets d'infrastructures linéaires comprennent un nombre important de structures complexes comme des routes, des tunnels, des canaux, des réseaux, des bâtiments, du terrassement... auxquels de multiples acteurs participent (bureaux d'étude, fabricants, constructeurs, entités administratives...) De plus, les infrastructures sont à la convergence de plusieurs échelles de représentation et de précision en allant de celle du territoire à celle du bâtiment. Aujourd'hui, les **Modèles De Données (MDD)** qui permettent la modélisation de ces infrastructures (au sens de la modélisation des informations et pas seulement de la modélisation 3D) sont propriétaires (les spécifications techniques appartiennent à l'éditeur et ne sont pas disponibles aux utilisateurs), peu collaboratifs et pas encore capables de gérer la complexité de ces ensembles d'ouvrages. Pourtant, l'ingénierie de la construction et du génie civil a besoin de MDD interopérables et pas seulement d'outils collaboratifs basés sur des formats propriétaires aussi efficaces qu'ils soient.

1.2. Une interopérabilité et des échange à structurer d'avantage

La gestion d'un projet en ingénierie concourante améliore la productivité et la qualité d'exécution des ouvrages : les délais sont réduits et les imprévus mieux gérés [GAL 04]. L'utilisation de formats de données ouverts (les spécifications techniques du format sont publiques et non propriétaires) s'est avéré être l'approche la plus appropriée pour réaliser des échange de données [BOR 12]. L'industrie de la construction cherche depuis plusieurs années à intégrer ces méthodes d'ingénierie concourante et de travail collaboratif dans ses processus de production : les plus importants challenges de ce point de vue sont axés sur la disponibilité, la transmission et la manipulation d'informations [GIL 08]. Dans l'industrie du BTP, cette manière collaborative de travailler s'appelle le **Building Information Modeling (BIM)**, au sens du management de l'information et non pas seulement de la représentation visuelle 3D. Les bénéfices de ce BIM, bien que les méthodes d'évaluation soient discutées, sont démontrés dans de nombreux travaux. Nous avons donc besoin, dans notre industrie, de **Modèles Conceptuels de Données (MCD)** sur lesquels les processus du BIM peuvent s'appuyer. Ils doivent pour cela être stables dans le temps, interopérables et qui considèrent tout le cycle vie des données : acquisition, traitement, stockage, analyse et diffusion.

Nous présentons ici une proposition de MCD qui doit partiellement répondre à la problématique suivante : comment structurer, au travers de standards de modélisation, l'information d'un projet d'infrastructure selon (1) les besoins spécifiques des acteurs et (2) les objectifs et performances auxquels l'ouvrage en service doit répondre ? Pour cela, nous faisons tout d'abord une comparaison de deux modèles de données normalisés, les **Industry Foundation Classes (IFC)** et le **City Geography Markup Language (CityGML)** ainsi que des concepts de structuration de l'information qu'ils portent, respectivement les niveaux de détail et niveaux de développement. Nous proposons ensuite un MCD intégrant ces deux concepts pour finir sur une illustration par un exemple explicite de l'utilité de structurer l'information par d'autres concepts que les seuls niveaux de détail et de développement.

2. Évaluation des standards existants : IFC et CityGML

Nous avons concentré nos recherches sur les IFC et le CityGML car ces modèles géométriques et sémantiques sont aujourd'hui considérés comme les plus importants pour la conception et la représentation d'objets réels [du milieu urbain] [ISI 09]. Ils sont tous deux normalisés et supportés par des organismes internationaux reconnus (respectivement BuildingSMART International et l'OGC, Open Geospatial Consortium). Nous savons que d'autres standards dédiés à la modélisation des infrastructures devraient bientôt être disponibles et opérationnels comme les *IFC road*, *IFC bridge* et *IFC alignement* ou encore *InfraGML* et *RailML* (bien que ce dernier soit exclusivement dédié à l'exploitation). L'arrivée de ces nouveaux standards et modèles de données ne change en rien notre démarche qui se place au niveau des concepts de l'architecture des données et non pas au niveau des objets décrits par ces différents MDD.

CityGML permet de modéliser le milieu urbain existant de manière interopérable et facilite les échanges de données pour toutes sortes d'analyses à des échelles plus larges que celle du bâtiment et des IFC (analyses aérodynamiques, solaires, acoustiques ou d'inondabilité [GRO 12, NAG 09, BIL 14]). Ce n'est pour le moment pas possible avec les IFC. En revanche, l'approche objet de CityGML ne permet pas dans son état actuel de décrire la conception d'un projet urbain dans le détail [NAG 09, KOL 09]. CityGML ne permet de modéliser que les éléments

surfaciques visibles d'un projet [NAG 09], appelés *features*, constitués de surfaces et d'assemblages de surfaces [KOL 04] qui doivent être scellés pour être considérés comme des volumes [EMG 08] ou plutôt comme des coques vides. En comparaison, certaines classes des IFC décrivent des *products*, qui sont des objets qui existent en tant que tels et peuvent être mis en œuvre ou mis en place [NAG 09].

Malgré les précédentes critiques, les IFC et le CityGML restent de puissants modèles de données. Nous avons identifié deux concepts pour répondre à notre problématique de structuration et de gestion de l'information évoqués en fin de section 1.2 : les **Level Of Detail (LOD)** de CityGML et les **Level Of Development** (parfois également appelés Level Of Detail) utilisés pour le BIM et notés ici **LODt**.

2.1. Comparaison des concepts de LOD et LODt

Les LOD facilitent la visualisation et ainsi l'analyse des données : un objet peut avoir une représentation différente pour chaque LOD, ce qui permet l'analyse et la visualisation d'un même objet avec plusieurs degrés de résolution [GRO 12] (voir Figure 1). Les LODt transcrivent l'avancée de la conception. Par contre, ils ne sont pas normalisés et sont donc soumis à interprétation même si certaines guides d'entreprises ou d'instituts proposent des LODt (parfois encore appelés Level Of Detail) adaptés à leurs contextes de travail [AIA 13, BIM 13a, BIM 13b, KRE 13] (voir Figure 1). Les LODt de [BIM 13b] basés sur le PAS 1193-2 2013 de la British Standards Institution sont ceux qui considèrent le plus largement l'ensemble du cycle de vie d'un ouvrage. De plus, ce sont les seuls qui bénéficient d'une description à la fois pour les bâtiments et pour les infrastructures.

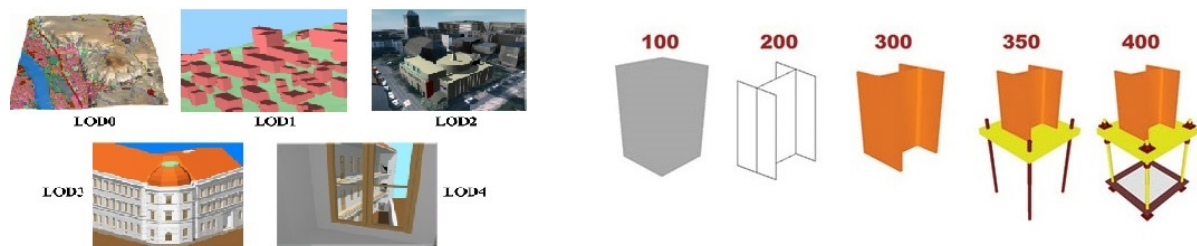


Figure 1. Illustration des LOD à gauche [GRO 12] et des LODt à droite [BIM 14].

Les LODt intègrent, comme les LOD, plusieurs éléments de la description d'un objet de manière explicite ou implicite comme le précise la Figure 2. A noter qu'aujourd'hui, les LODt ont tendance à être décomposés en deux types de niveau : les niveaux d'information (qui traitent la partie attributaire et sémantique d'un objet) et les niveaux de détail (qui traitent exclusivement de la géométrie de l'objet). Là encore, ces propositions ne sont pas standardisées. Nous avons ici fait le choix d'utiliser LOD dans le même sens que celui décrit dans la norme de CityGML [GRO 12] et le LODt comme spécifiant uniquement les données attributaires et sémantiques d'un objet.

illustration				Objet générique ou détaillé Appartenance à un système ou ensemble...	OUI ou NON	Activité (pour un bâtiment), type (pour une route) Matériau...
concept	complexité géométrique	dimension	apparence	sémantique	présence	attributs
LOD	+	-	+	0	+	-
LODt	+	0	-	-	0	+

Figure 2. Comparaison des concepts explicites (+) et implicites (-) portés par les LOD et LODt (0 signifie que les concepts ne sont pas inclus dans les LOD ou LODt).

Les LOD structurent implicitement les objets modélisés dans un seul arbre hiérarchique : pour un LOD supérieur, un objet est éclaté en plusieurs objets. Or, cette approche unique de structuration n'est pas suffisante. Comme nous allons le voir dans notre exemple ci-dessous, la description d'un objet est fonction de son contexte et du cadre dans lequel il est utilisé et pas seulement relative aux informations qui le décrivent et à l'échelle à laquelle nous l'observons. Un concept de niveau d'abstraction supérieur doit être introduit afin d'intégrer le contexte d'utilisation des objets d'un modèle et les exigences auxquelles il permet de répondre.

Dans un premier temps, les LODt correspondaient très fortement aux différentes phases d'un projet de bâtiment. Nous constatons sur des projets d'infrastructure que le niveau de développement des objets n'est pas nécessaire-

ment identique pour tous les objets pour une phase donnée. Les LODt sont en fait définis dans l'absolu alors que selon le projet mais également plus finement selon l'acteur qui s'intéresse à la modélisation des données avec son point de vue propre, l'unicité du LODt par objet n'est pas pertinente comme le montre la Figure 3. En contre partie, le fait d'utiliser des LODt relatifs à chaque objet implique une redéfinition partielle ou totale à chaque nouveau projet puisqu'ils sont variables pour chaque objet selon le contrat, la décision ou l'acteur considéré.

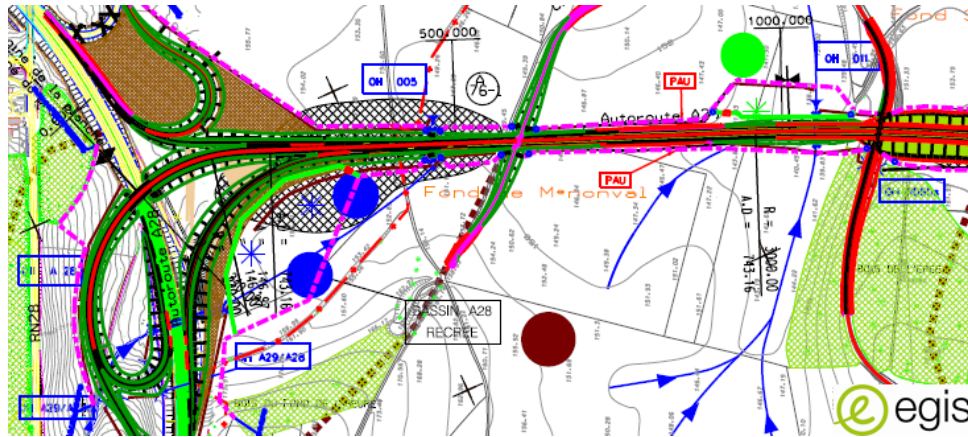


Figure 3. Plan d'Avant-Projet Sommaire : (1) la géométrie du tracé routier est parfaitement définie et détaillée (LOD et LODt élevés) ; (2) pour les bassins (cercles bleus), on a déjà fixé assez précisément leur nombre, leur volume, leur implantation spatiale, leur géométrie (principalement au travers de la proportion réglementaire entre largeur et longueur) et vérifié la faisabilité technique : seule la complexité de la forme géométrique n'est pas précise (LOD moyen et LODt élevé), (3) les études hydrauliques d'écoulement des eaux naturelles sont précises à cette phase mais leur représentation est schématique (LOD faible et LODt élevé).

2.2. Structuration des objets et des propriétés au travers des BIM uses

Bien que depuis 2007 les outils et modèles de données aient évolués, il a été mis en évidence dans [PLU 07] que les modèles de données collaboratifs ne correspondent pas parfaitement aux besoins disciplinaires. Un objet doit donc avoir plusieurs modélisations et descriptions selon son cadre d'utilisation, sans pour autant perdre son lien avec le reste du modèle. Il est donc bien nécessaire de réfléchir à des modèles interopérables mais adaptables aux besoins de représentation multiple d'un même objet et susceptibles de répondre simultanément à plusieurs niveaux d'abstraction.

Des prises de décision ponctuent la vie de l'ouvrage de sa conception à sa fin de vie. Pour qu'elles soient réalisées dans les meilleures conditions, il est indispensable d'avoir à sa disposition non pas toute les informations, mais seulement celles pertinentes pour cette décision : voici deux exemples. Pour un aménagement urbain, on peut considérer le permis de construire comme la dernière décision avant le démarrage des travaux. Pour une infrastructure linéaire, une des premières décisions globales du projet concerne les fuseaux de passage et leurs impacts environnementaux. Chaque décision répond en fait à une ou plusieurs exigences (voir définition partie 3.2). Or, pour chacune d'elle, seuls certains objets et certaines données sont concernées parmi toutes celles disponibles.

Enfin, un dernier élément est indispensable à une bonne identification des besoins en objets et en informations selon la décision à prendre : il s'agit des « BIM uses ». Un BIM Use est un scénario à jouer avec des rôles et des acteurs bien identifiés pour fournir ou contrôler certaines données et leur adéquation avec des exigences spécifiques du projet. L'ensemble des BIM Uses permet de répondre à l'ensemble des exigences. Dans [KRE 13], les auteurs en ont identifié 25 parmi lesquels la coordination 3D, la programmation, la modélisation 4D, la gestion de patrimoine, etc. Ils sont assez généraux mais le concept n'interdit aucunement d'en définir de plus spécifiques, basés sur la réponse à des exigences précises comme développé ci-dessous. Il est à noter qu'un objet peut être soumis à plusieurs BIM uses, ce qui peut impliquer des dimensionnements et des géométries contradictoires. Un BIM use peut également regrouper des objet provenant de systèmes bien différents par exemple mais devant répondre ensemble à une exigence. Nous détaillons un cas spécifique dans la partie suivante après avoir justifié nos choix concernant les formalismes de modélisation.

3. Proposition d'un modèle de gestion de l'information par les *BIM uses*

3.1. Formalisme retenu pour le MCD : l'UML

L'utilisation d'un langage orienté objet est incontournable pour la modélisation de modèles de données. Les langages basés sur le modèle *Entité-Association* par exemple sont à proscrire, car leurs concepts sont trop pauvres pour modéliser la réalité des situations actuelles [que nous cherchons à décrire ici] [LAP 02]. De plus, la modélisation d'un projet d'infrastructure intègre de nombreuses disciplines, nécessite la modélisation de phénomènes hétérogènes et oblige à manipuler de multiples objets avec des représentations et des niveaux d'abstraction variés. La bibliographie justifiant la modélisation orientée objet dans ce type de contexte est foisonnante : nous citerons seulement le travail fondateur de Booch [BOO 92]. Il en découle que le moyen retenu pour modéliser notre MCD est l'UML (*Unified Modeling Language*).

3.2. Description du modèle conceptuel

Nous présentons ici le modèle générique qui permet de décrire chaque objet du projet selon les *BIM Uses* et les exigences à traiter. Il est nécessaire d'adopter deux points de vue pour bien comprendre le fonctionnement de ce MCD : (1) structuration des informations concernant un objet spécifique (voir Figure 4) et (2) structuration du MCD par les *BIM Uses* pour sélectionner uniquement les objets et informations pertinents pour ce scénario (voir Figure 5). Nous détaillons ci-dessous les éléments de ces deux Figure 4 et 5.

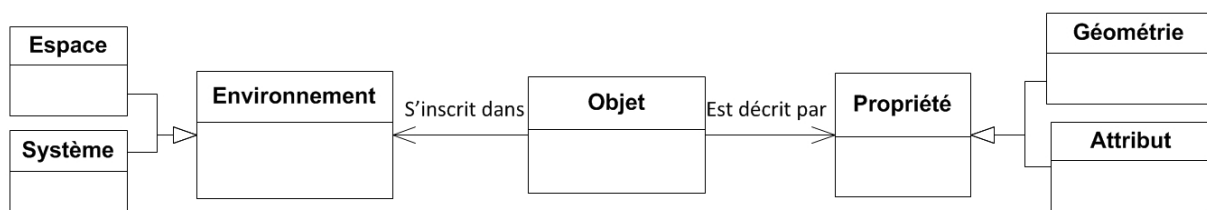


Figure 4. Modèle conceptuel pour un Objet.

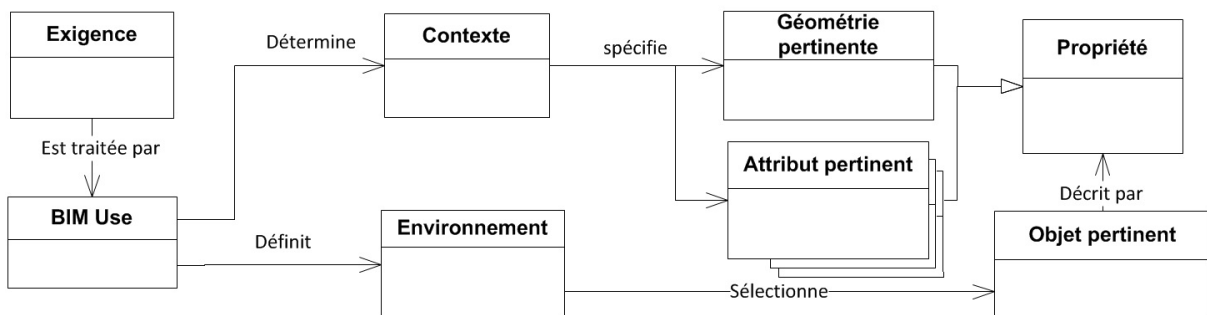


Figure 5. Modèle conceptuel de données structuré par les exigences : diagramme de classes.

Objet : représente n'importe quel élément du projet : composant, produit, éléments permanent ou provisoire de construction ...

Environnement : un environnement est un ensemble d'un ou plusieurs *Espace* et un ou plusieurs *Système*. Il sélectionne les objets qui appartiennent aux *Espace* et *Système* qui le composent (le découpage des espaces et systèmes n'est pas traité ici mais il fait l'objet de structurations spécifiques car selon le métier et le niveau d'abstraction, les espaces sont organisés différemment).

Propriété : une propriété est ce qui caractérise un objet : elle peut être géométrique ou attributaire (descriptive).

Exigence : énoncé qui traduit (ou exprime) un besoin, des contraintes (techniques, coût, délais...) [FAN 01] ; peut provenir du client, de normes, de réglementations...

BIM use : est défini comme un procédé d'application du BIM au cours du cycle de vie d'une installation pour atteindre un ou plusieurs objectifs spécifiques [KRE 13] ; certaines décisions sont évaluées à plusieurs phases avec des LOD et LODt différents : un même *BIM Use* peut donc être joué à chaque phase mais avec des *Contexte* et *Environnement* différents.

Contexte : il spécifie la *Géométrie pertinente* (LOD de l'objet) et les *Attribut pertinent* du *BIM Use* parmi les propriétés disponibles des objets (LODt) sélectionnés par l'*Environnement*.

4. Expérimentation : exemple du dossier loi sur l'eau

Voici la problématique mise en évidence par cet exemple : certaines zones d'un projet linéaire ont plusieurs niveaux de sensibilité d'un point de vue environnemental par rapport aux rejets de l'infrastructure. Pour les sites les plus sensibles, non seulement le ruissellement de plateforme doit être récupéré et traité, mais tout basculement d'un véhicule contenant des matières polluantes au dessus des dispositifs de retenue doit être empêché. Il convient donc, dans le dimensionnement du réseau d'assainissement, de considérer également les dispositifs de retenue dans le contexte de la loi sur l'eau alors qu'ils n'ont *a priori* aucun rapport avec l'assainissement de plateforme.

Ainsi, pour répondre au *BIM Use* dossier loi sur l'eau et à l'exigence de protection des milieux naturels sensibles, nous allons instancier le MCD de la Figure 5, c'est à dire identifier les objets du projets à manipuler pour ce *BIM Use*. La description qui suit est synthétisée dans les Figures 6 et Figure 7. Le formalisme de ces figures peut être expliqué de la manière suivante : lorsque les éléments sont soulignés, il s'agit d'instances des classes définies dans la Figure 5. On a donc nom de l'instance : nom de la classe dans la partie supérieure des cases. Notons que le fait d'avoir un # pour le nom de l'instance signifie que cette instance n'as pas nécessairement de nom spécifique.

L'*Environnement* pertinent pour ce *BIM Use* est composé des *Systèmes assainissement* et *dispositifs de retenue* ainsi que des *Espaces sensibles*. L'environnement va donc sélectionner les objets qui sont présent dans les *Espaces sensible* et appartenant au *Systèmes* d'assainissement ainsi que les objets appartenant aux *Espaces sensible* et au *Systèmes* des dispositifs de retenue. (Les objets traités ici *Caniveau* et *Elément de retenue* ne sont pas les seuls sélectionnées par cet environnement. Toutefois, les autres objets concernés par ce *BIM Use* n'apportent pas de pertinence complémentaire à cette illustration et ne sont donc pas traités ici.)

Le *Contexte* spécifie ensuite les propriétés à utiliser pour chaque objet. Dans notre cas, il spécifie que les objets doivent avoir un LOD spécifique (ici numéroté 1) qui détermine la représentation en plan de l'objet. Il spécifie également les attributs pertinents de chaque objet. Les autres attributs n'ont pas d'intérêt pour ce *BIM Use*.

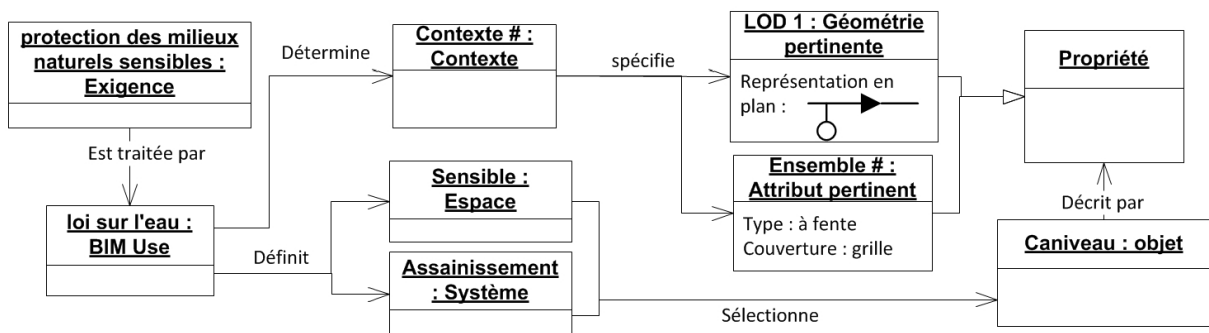


Figure 6. Instanciation du modèle conceptuel de données : cas du caniveau.

Pour illustrer l'intérêt de cette manière de structurer et de gérer l'information par les exigences et les *BIM Uses*, nous pouvons évoquer un autre exemple. Lors de l'étude globale de la sécurité du tracé, il est nécessaire de contrôler la bonne position géométrique des dispositifs de retenue ainsi que leurs performances d'absorption des chocs. Par conséquent, pour cet autre *BIM Use*, le *Contexte* et l'*Environnement* changent. Pour traiter cette exigence de sécurité, nous avons besoin de tous les éléments de retenue du projet (*Espace* Projet et *Système* des dispositifs de retenue). D'autres *Systèmes* et *Contextes* sont concernés par ce *BIM Use* mais ne sont pas évoqués ici. Les propriétés attendues sont une représentation géométrique en 3D ainsi que le type de dispositif, le matériau, et surtout, la performance.

Voici une analyse de ces deux cas. Le LOD et le LODt demandés d'un objet varient selon l'exigence. Ces deux concepts ne peuvent donc pas être utilisés dans l'absolu comme ils le sont actuellement mais sont plutôt relatifs à

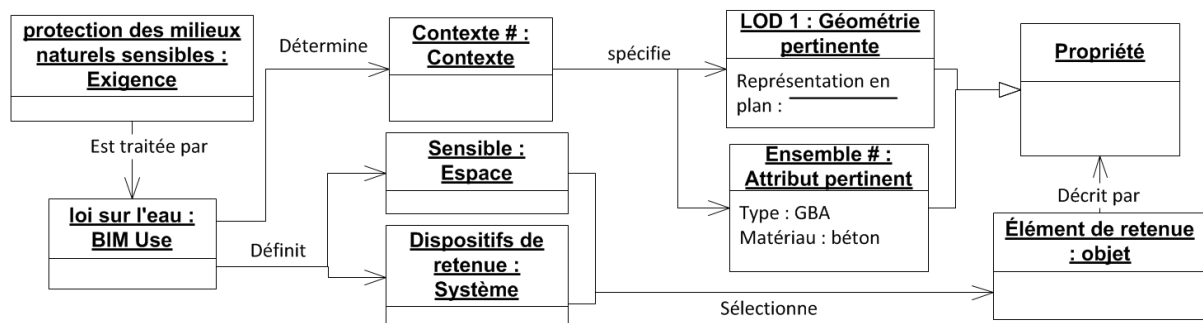


Figure 7. Instanciation du modèle conceptuel de données : cas de l'élément de retenue.

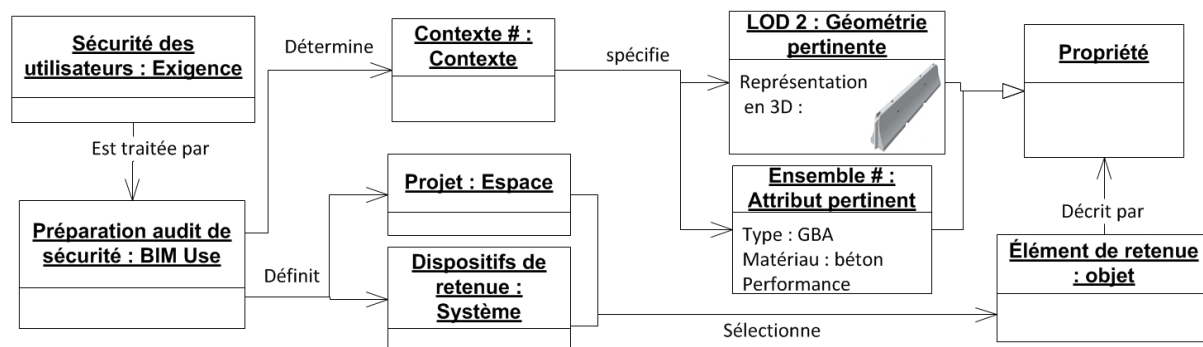


Figure 8. Instanciation du modèle générique d'objet : cas de l'élément de retenue pour le BIM Use Vérification de la sécurité du tracé.

chaque objet. Ensuite, la décomposition spatiale du projet varie selon le point de vue (acteur du *BIM Use*). Enfin, ce sont bien les exigences qui dirigent les besoins de modélisation et non pas les livrables contractuels. Le MCD proposé ici permet bien de sélectionner les objets, attributs et représentations pertinentes pour chaque utilisation, chaque acteur ou *BIM Use*. Il reste toutefois une partie important du travail qui consiste à définir chaque *BIM Use* avec les *Environnement* et *Conteste* correspondants. Il s'agit d'un travail fastidieux et complexe qui nécessite une connaissance parfaite du travail de concepteur. Bien qu'un projet de normalisation soit en cours sur ce sujet, ces spécifications doivent faire l'objet d'une ré-actualisation permanente pour chaque nouveau projet.

5. Discussion et conclusion

Nous avons expérimenté notre proposition de MCD sur un cas concret simple en traitant quelques objets de deux *BIM Uses*. Il convient maintenant de montrer que cette proposition fonctionne sur un échantillon d'objets plus grand et plus complexe, en traitant plusieurs *BIM uses*. Nous aurons à gérer par exemple le fait que certaines propriétés d'objet, définies par un *BIM uses* et pour répondre à certaines exigences, deviennent des exigences à leur tour pour la définition d'autres propriétés, dans d'autres espaces et systèmes. Nous travaillons à la mise en place d'une expérimentation en ce sens.

Du point de vue d'une mise en œuvre plus large de ce travail sur un projet, de nombreux éléments restent à définir, comme par exemple la manière de modéliser le workflow (processus et étapes de validation) de chaque objet. Ensuite, les équipes de conception ne peuvent absorber rapidement des bouleversements aussi important dans la manière de concevoir, d'autant plus que les outils ne sont pas opérationnels actuellement pour ce mode de management de l'information. Bien que le travail collaboratif et le BIM soient des sujet très en vogue depuis plusieurs années et que de nombreux travaux tendent à le faire progresser, tant du côté universitaire que du côté industriel, il semble que les approches actuelles de management de l'information ne permettent pas encore de répondre correctement aux besoins de nos métiers de la construction. Les travaux réalisés dans d'autres industries autour par exemple du PLM ou de PLCS constituent selon nous des pistes de travail sérieuses et pertinentes.

Remerciements

Nous tenons à remercier Isabelle Lappe, Lise Foucher ainsi que Nicolas Rageul d'Egis International pour leur participation à cette réflexion en apportant la composante opérationnelle de ce travail.

6. Bibliographie

- [AIA 13] AIA, « AIA », 2013.
- [BIL 14] BILLEN R., CUTTING-DECELLE A.-F., MARINA O., DE ALMEIDA J.-P., CAGLIONI M., FALQUET G., LEDUC T., MÉTRAL C., MOREAU G., PERRET J., RABINO G., SAN JOSE R., YATSKIV I., ZLATANOVA S., *3D City Models and urban information : Current issues*, EDP Sciences, european c édition, 2014.
- [BIM 13a] BIMFORUM, « BIMForum », 2013.
- [BIM 13b] BIMPROTOCOL, BIM protocol, rapport, Construction Industry Council, Standard Protocol for use in projects using Building Information Models, 2013.
- [BIM 14] BIMFORUM, Level of development specification, rapport, BIM Forum, 2014.
- [BOO 92] BOOCH G., *Conception orientée objets et applications*, Addison-we édition, 1992.
- [BOR 12] BORRMANN A., JI Y., JUBIERRE J. R., FLURL M., « Procedural Modeling : A new approach to multi-scale design in infrastructure projects », *EG ICE Workshop on Intelligent Computing in Civil Engineering.*, p. 1–10, 2012.
- [EMG 08] EMGARD L., ZLATANOVA S., « Design of an integrated 3D information model », *GIS, OTB, Delft University of Technology*, The Netherlands, delft univ édition, 2008.
- [FAN 01] FANMUY G., LEVY G., FOISSEAU J., LAMOTHE P., HERMANS B., DE CHAZELLES P., CHOVEAU E., *Recommandations pour l'élaboration d'un référentiel d'exigences techniques*, rapport, Association Française d'Ingénierie Systèmes (AFIS), 2001.
- [GAL 04] GALLAHER M. P., O'CONNOR A. C., DETTBARN J. L., JR., GILDAY L. T., *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U. S. Capital Facilities Industry*, rapport, National Institute of Standards and Technology (NIST), U.S. Department of Commerce Technology Administration, 2004.
- [GIL 08] GIL J., DUARTE J., « Towards an urban design evaluation framework », *the eCAADe conference*, Antwerpen, Belgium, p. 257–264, 2008.
- [GRO 12] GROGER G., KOLBE T. H., NAGEL C., HÄFELE K.-H., « Open Geospatial Consortium OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding standard », 2012.
- [ISI 09] ISIKDAG S., ZLATANOVA S., « Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using BIM », *Lee and Zlatanava (eds.), 3D geo-information sciences, LNG&C, Springer Verlag*, chapitre Chapter 6, p. 79–96, 2009.
- [KOL 04] KOLBE T. H., PLUMER L., « Bridging the gap between GIS and CAAD », *GIM International 2004, Vol. 18, No. 7*, p. 12–15, 2004.
- [KOL 09] KOLBE T. H., « Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML », SPRINGER, Ed., *3rd international workshop on 3D geo-information-information*, Seoul, Korea, 2009.
- [KRE 13] KREIDER R. G., MESSNER J. I., *The Uses of BIM : Classifying and Selecting BIM Uses*, rapport n° September, Computer integrated construction, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA, 2013.
- [LAP 02] LAPLANCHE F., « Conception de projet SIG avec UML », *Bulletin de la Société géographique de Liège*, vol. 42, p. 19–25, 2002.
- [NAG 09] NAGEL C., STADLER A., KOLBE T. H., « Conceptual requirements for the automatic reconstruction of building information models from uninterpreted 3d models », 2009.
- [PLU 07] PLUME J., MITCHELL J., « Collaborative design using a shared IFC building model — Learning from experience », *Automation in Construction*, vol. 16, p. 28–36, janvier 2007.