

Charles-Édouard **Tolmer** & Régine **Teulier**
Coordinateurs

LE

BIM

ENTRE RECHERCHE ET
INDUSTRIALISATION

Ingénierie & architecture,
enseignement & recherche



Modélisation des Informations Interopérables
pour les Infrastructures Durables

● Editions
EYROLLES

Charles-Édouard **Tolmer** & Régine **Teulier**

Coordinateurs

LE BIM ENTRE RECHERCHE ET INDUSTRIALISATION

Ingénierie & architecture, enseignement & recherche

Le BIM est actuellement testé dans de multiples démarches d'entreprises de la construction. Ce qui relevait jusqu'ici du questionnement et des expérimentations est désormais à maturité, les entreprises ayant dépassé le stade de l'exploration pour mettre en œuvre des solutions. On trouvera ici un choix représentatif de travaux portant sur les infrastructures comme sur le bâtiment ; qu'il s'agisse de recherche ou bien de réalisations exécutées dans la filière construction, ils ont été conduits en France par des spécialistes du BIM.

Des spécialistes de la donnée font le point sur les données liées ; des ingénieurs et des juristes d'entreprise formulent les nouvelles conditions d'application du droit de la propriété privée sur la propriété de la donnée ; des architectes s'intéressent à l'évolution des métiers et aux nouvelles méthodes de coordination dans le projet de construction dont l'issue devient un produit numérique qui s'ajoute à l'objet physique livré au client. Enfin, le point de vue de l'évolution systémique des méthodes est exploré par un ingénieur.

Les auteurs et coordinateurs

Docteur en génie urbain (Paris-Est/Marne-la-Vallée, LabUrba), diplômé de l'ENS Cachan, **Charles-Édouard TOLMER** est actuellement chef de projet chargé du développement des processus BIM chez Eurovia (acteur majeur de la construction d'infrastructures de transport et d'aménagements urbains au niveau mondial). On lui doit des articles de recherche portant sur l'utilisation du BIM dans les projets d'infrastructures routières et sur la méthodologie de définition du bon niveau d'information à échanger dans les processus collaboratifs par la gestion des exigences. Il est expert normalisation européenne et internationale et anime plusieurs groupes de travail, notamment dans le projet national MINnD. Il assure plusieurs formations sur le BIM en écoles d'ingénieurs et à l'université (UTC, ESTP-ENPC, Cesi, DU Paris- Est).

Ingénieur et docteur en sciences économiques, chercheur associé au CRG-I3, Institut interdisciplinaire de l'innovation (UMR 9217, CNRS/École Polytechnique/CNRS), **Régine TEULIER** travaille sur les conditions et les processus de la coopération dans les groupes - entre les hommes et les machines, et entre les entreprises - en privilégiant l'étude des pratiques. Ses travaux portent sur les savoir-faire, les apprentissages, la modélisation des connaissances, la coopération en utilisant les concepts et les méthodes de l'ingénierie des connaissances et des sciences de gestion. Elle travaille sur le BIM à travers le projet Communic puis le projet MINND.

Ont contribué à l'ouvrage

Sabine AYRAUD (FNTP)
Pierre BENNING (Bouygues Travaux Publics)
Nicolas BUS (*Information System and Applications Division*, CSTB)
Vincent COUSIN (Processus & Innovation)
Émilien CRISTIA (MAP-MAACC - ENSA Paris-La Villette, IDHES- ENS Paris-Saclay)
Louis DEMILECAMPS (MINnD)
Dominique DENEUX (LAMIH, Université polytechnique Hauts-de-France)
Muhammad FAHAD (Experis It)
François GUENA (MAP-MAACC - ENSA Paris-La Villette)
Elio HBEICH (Université de Bourgogne Franche-Comté - Laboratoire d'informatique de Bourgogne ; *Information System and Applications Division*, CSTB)
Samir LAMOURI (LAMIH, Arts et Métiers ParisTech, Paris)
Thomas Maigne (Treegram)
Robert PELLERIN (Polytechnique Montréal)
Ana-Maria ROXIN (Université de Bourgogne Franche-Comté - Laboratoire d'informatique de Bourgogne)
Léa SATTler (LAMIH, Arts et Métiers ParisTech)
Pierre-Paul ZALIO (IDHES- ENS Paris-Saclay)
Nicolas ZIV (ESTP, Université Paris-Est)

Le BIM entre recherche et industrialisation

BIM et maquette numérique aux éditions Eyrolles

Nader Boutros, Régine Teulier (dir.), *À la pointe du BIM. Ingénierie & architecture, enseignement & recherche*, 2018, 192 p.

Sylvain Riss, Aurélie Talon & Régine Teulier (dir.), *Le BIM éclairé par la recherche*, 2017, 192 p., coédition Eyrolles/CESI (exclusivement disponible en livre numérique)

Olivier Celnik & Éric Lebègue (dir.), *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction*, préface de Bertrand Delcambre, 2^e éd. 2016, 768 p., coédition Eyrolles/CSTB/MediaConstruct (exclusivement disponible en livre numérique)

Karen Kensek, *Manuel BIM. Théorie et applications*, préface de Bertrand Delcambre, 2015, 256 p.

Éric Lebègue & José Antonio Cuba Segura, *Conduire un projet de construction à l'aide du BIM*, 2015, 80 p., coédition Eyrolles/CSTB

Anne-Marie Bellenger & Amélie Blandin, *Le BIM sous l'angle du droit : pratiques contractuelles et responsabilités*, 2^e éd. 2019, 208 p.

Serge K. Levan, *Management et collaboration BIM*, 2016, 208 p.

Annalisa De Maestri, *Premiers pas en BIM : l'essentiel en 100 pages*, 2017, 104 p., coédition Eyrolles/Afnor

Christophe Lheureux, *BIM pour le maître d'ouvrage. Comment passer à l'action*, 2017, 96 p.

Patrick Dupin, *Le LEAN appliqué à la construction. Comment optimiser la gestion de projet et réduire coûts et délais dans le bâtiment*, 2014, 160 p.

Brad Hardin & Dave McCool, *Le BIM appliqué au management du projet de construction. Méthode, flux de travaux et outils*, édition française de Luigi Failla, 2019, 380 p., coédition Eyrolles/Afnor éditions

Jonathan Renou & Stevens Chemise, *Revit pour le BIM : Initiation générale et perfectionnement structure*, 5^e éd., 2018, 472 p.

Julie Guézo & Pierre Navarra, *Revit Architecture : développement de projet et bonnes pratiques*, 2^e éd. 2018, 516 p.

Vincent Bleyenheuft, avec la contribution de Julien Blachère et de Christophe Onraet, *Les familles de Revit pour le BIM*, 2^e éd. 2018, 408 p.

Olivier Lehmann, Sandro Varano & Jean-Paul Wetzels, *SketchUp pour les architectes*, 2014, 246 p.

Matthieu Dupont de Dinechin, *Blender pour l'architecture : conception, rendu, animation et impression 3D de scènes architecturales*, 2^e éd., 2016, 336 p.

**...et des dizaines d'autres livres de BTP, de génie civil,
de construction et d'architecture sur
www.editions-eyrolles.com**

Charles-Édouard Tolmer & Régine Teulier
coordinateurs

Le BIM entre recherche et industrialisation



● Éditions
EYROLLES

ÉDITIONS EYROLLES
61, bd Saint-Germain
75240 Paris Cedex 05
www.editions-eyrolles.com

Conception graphique et mise en pages : Hervé Soulard

En application de la loi du 11 mars 1957, il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage, sur quelque support que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris.

© Éditions Eyrolles, 2019, ISBN : 978-2-212-67802-4

Sommaire

Préambule	1
Avant-propos.....	3
Préface	7
Introduction.....	11
CHAPITRE 1. Les maquettes numériques rêvent-elles d'intégration ?	15
CHAPITRE 2. Data interoperability for a Multi-scale model (BIM/CIM/LIM)	39
CHAPITRE 3. Vocabulaires de données liées pour le BIM.....	55
CHAPITRE 4. Multi-Threaded Semantic Approach for the Conformance Checking of BIM.....	71
CHAPITRE 5. La question de la propriété intellectuelle	85
CHAPITRE 6. Enrichment of Systems Engineering for an application to the Construction sector: Integration of Space.....	109
CHAPITRE 7. Fabriquer une maquette numérique BIM et reconsidérer le projet architectural	123
Les auteurs	141
Les reviewers.....	142
Le comité scientifique.....	143

Table des matières

Préambule.....	1
Avant-propos.....	3
Préface.....	7
Introduction.....	11
CHAPITRE 1. Les maquettes numériques rêvent-elles d'intégration ? <i>Léa Sattler, Samir Lamouri, Robert Pellerin, Dominique Deneux, Thomas Maigne</i>	15
Abstract	15
Keywords	16
Résumé	16
Mots-clefs.....	16
Introduction.....	16
1. Méthodologie de constitution du corpus.....	18
2. Attentes collaboratives autour de l'interopérabilité BIM	20
2.1. Accéder à la donnée – l'angle du format.....	20
2.2. Réutiliser les données et éviter leur ressaisie.....	21
2.3. Vérifier et valider les données	22
2.4. Retrouver des données – l'angle des requêtes.....	22
2.5. Connecter des données métiers	22

2.6.	Combiner des données métiers	23
2.7.	Combiner des plates-formes de données	23
3.	Résolution des problèmes d'interopérabilité BIM	24
3.1.	Approche top-down	25
3.2.	Approche bottom-up	25
3.2.1.	<i>Déduction de données et transformation automatisées</i>	<i>25</i>
3.2.2.	<i>Validations IFC/MVD</i>	<i>26</i>
3.2.3.	<i>Stratégies de conversion</i>	<i>26</i>
3.2.4.	<i>Requêtes BIM</i>	<i>26</i>
3.3.	Approche intégrative	27
3.3.1.	<i>Articulation de données</i>	<i>27</i>
3.3.2.	<i>Centralisation de données</i>	<i>27</i>
3.3.3.	<i>Orchestration de workflows</i>	<i>28</i>
3.3.4.	<i>Web sémantique et ontologies</i>	<i>29</i>
4.	Discussion	29
4.1.	Perspectives de recherche	29
4.1.1.	<i>Paramétrisation inter-modèles et associativité</i>	<i>30</i>
4.1.2.	<i>Interopérabilité dynamique</i>	<i>31</i>
4.1.3.	<i>Requêtes BIM et extractions partielles</i>	<i>31</i>
4.2.	Limitations	31
	Conclusions	32
	Bibliographie	32

CHAPITRE 2. Data interoperability for a Multi-scale model (BIM/CIM/LIM)

Elio Hbeich, Ana-Maria Roxin, Nicolas Bus..... 39

Abstract	39
Keywords	39
Résumé	40
Mots-clefs.....	40
Introduction.....	40
1. Modelling Language Concept	41
1.1. Information modelling with in BIM	41
1.2. Information modelling in GIS	43
1.3. Comparison of the two modelling approaches	44
2. Information Interoperability	46
2.1. Integrated approach	46
2.2. Unified approach	47
2.3. Federated approach.....	47
2.4. Conclusion	48

3.	BIM/GIS interoperability	48
3.1.	IFC-to-RDF	48
3.2.	CityGML-to-RDF	49
3.3.	GIS-to RDF	49
3.4.	FOWLA approach	49
3.5.	Contextual Levels Approach	50
3.6.	Conclusion	50
4.	Regulation for compliance checking	50
5.	Future Work	50
	Conclusion	51
	Bibliography	51
	CHAPITRE 3. Vocabulaires de données liées pour le BIM	
	<i>Ana-Maria Roxin</i>	55
	Abstract	55
	Keywords	55
	Résumé	56
	Mots-clefs	56
	Introduction	56
1.	Rappels théoriques	57
2.	Trame d'analyse	59
3.	Vocabulaires de données liées pour le BIM	59
3.1.	L'ontologie SSN (Semantic Sensor Networks)	60
3.2.	Le vocabulaire Owl-time	60
3.3.	L'ontologie SAREF (Smart Appliances REFerence)	61
3.4.	Le vocabulaire Basic geo	62
3.5.	L'ontologie DogONT (Ontology Modelling for Intelligent Domestic Environments)	63
3.6.	L'ontologie FIEMSER	64
3.7.	La représentation OWL de la norme ISO 19107	65
3.8.	Le vocabulaire GML (Geography Markup Language)	66
3.9.	Le langage de requêtes GeoSPARQL	67
4.	Analyse comparative et conclusion	69
	Bibliographie	70

CHAPITRE 4. Multi-Threaded Semantic Approach for the Conformance Checking of BIM	
<i>Muhammad Fahad, Nicolas Bus</i>	71
Abstract	71
Keywords	72
Résumé	72
Mots-clés.....	73
Introduction.....	73
1. Related Work.....	74
2. Usecase Scenario	76
3. Multi-Threaded Semantic Approach for the Conformance Checking	76
Conclusion.....	82
Bibliography	83
CHAPITRE 5. La question de la propriété intellectuelle	
<i>Pierre Benning, Sabine Ayraud, Vincent Cousin, Louis Demilecamps</i>	85
Abstract	85
Keywords	85
Résumé	86
Mots-clefs.....	86
Introduction.....	86
1. Le projet BIM dans l’entreprise comme contexte technologique de l’évolution juridique nécessaire	87
1.1. Le BIM nécessite une information numérisée, structurée selon un certain référentiel et échangeable.....	88
1.2. Le BIM nécessite des formulations juridiques différentes suivant les niveaux de maturité	88
1.3. La nature du marché influence l’expression juridique	89
2. Le contexte législatif, réglementaire et institutionnel de la construction	91
2.1. La notion de données publiques.....	91
2.2. La loi MOP – loi relative à la maîtrise d’ouvrage et à ses rapports avec la maîtrise d’œuvre privée.....	92
2.3. La directive Inspire	92

3.	Le contexte juridique : le droit de la propriété intellectuelle	93
3.1.	La propriété intellectuelle.....	93
3.2.	La notion d'œuvre	94
3.3.	Le droit des bases de données.....	95
4.	Notre contribution	96
4.1.	Notre contribution sur la PI.....	96
4.2.	Les différentes propositions sur le type d'œuvre	99
4.3.	Concernant le droit des bases de données.....	100
4.4.	Conseils à la maîtrise d'ouvrage.....	101
	4.4.1. <i>Les conseils généraux</i>	101
	4.4.2. <i>Les conseils pour la mise en place d'une démarche BIM</i>	102
	4.4.3. <i>Les préconisations concernant le CCAP et le CCTP</i>	102
4.5.	Les perspectives de l'Open Data et les licences de données	103
	Conclusion	104
	Crédits	105
	Bibliographie	105
	 CHAPITRE 6. Enrichment of Systems Engineering for an application to the Construction sector: Integration of Space	
	<i>Nicolas Ziv</i>	109
	Abstract	109
	Keywords	110
	Résumé	110
	Mots-clés	110
	Introduction	111
1.	Systems Engineering	111
2.	Particularities of construction systems	112
3.	Integration of "Space" in Systems Engineering	113
4.	Application to the 5th metro line of Lyon	116
	4.1. Allocation of needs to space(s)	116
	4.2. Allocation of functions to space(s)	116
	4.3. Allocation of components to space(s).....	117
	4.4. Discussion on space allocation	118
5.	Discussion: structuration of BIM information	119
	Conclusion	120
	Bibliography	121

CHAPITRE 7. Fabriquer une maquette numérique BIM et reconsidérer le projet architectural	
<i>Emilien Cristia, Pierre-Paul Zalio, François Guéna</i>	123
Abstract	123
Keywords	124
Résumé	124
Mots-clefs	124
Introduction	124
1. Suivre les traces de la maquette numérique BIM	125
2. Reconsidérer théoriquement la démarche BIM	125
2.1. BIM : sujet-objet-projet.....	125
2.2. Construire un nouvel objet grâce à un nouveau projet numérique	126
3. De nouvelles compétences au service de la fabrique de la maquette numérique BIM	128
3.1. Les nouvelles exigences BIM de la maîtrise d’ouvrage.....	128
3.2. Entre mutation des compétences et hybridation du métier d’architecte.....	129
4. Coordonner le projet numérique en phase chantier	132
4.1. La réunion de synthèse comme un espace-temps privilégié des projets	132
4.2. BIM Manager ou comment coordonner les acteurs pour articuler les projets.....	134
5. Le processus de la synthèse assurant la coordination	136
Conclusion	138
Bibliographie	139
Les auteurs	141
Les reviewers	142
Le comité scientifique	143

Préambule

EduBIM est le lieu de rencontres et d'échanges autour du BIM mettant en relation les enseignants, les chercheurs et les formateurs. Ce réseau qui s'agrandit d'année en année comprend tous les niveaux de formation (STI2D, STS, IUT, universités, écoles d'ingénieurs, etc.) et toutes les spécialités (bâtiment, travaux publics, sciences sociales, etc.). Il entretient un lien fort avec les entreprises, notamment à travers le projet national MINnD qui est à l'origine de ces journées.

Après la première édition en 2015 à l'ESITC Caen, la deuxième à l'ESTP (Cachan), celle de 2017 organisée par le CESI à Nanterre et celle de 2018 à Polytech Clermont, la 5^e édition a lieu à l'ENS Paris-Saclay. Cette conférence se compose de deux journées complémentaires. Une journée Workshop permettant d'échanger sur les dernières avancées en termes de recherche autour du BIM, puis une journée enseignement permettant d'échanger sur l'évolution de la pédagogie de par l'intégration de ce processus de travail collaboratif mais aussi de mettre en pratique des outils lors d'ateliers : vérification de la cohérence des maquettes de différents corps d'état, outils de modélisation 4D et interopérabilité, réalité virtuelle, construction collaborative d'un pont, architecture paramétrique, correction automatisée des maquettes numériques.

Établissement public fondé en 1912, l'École normale supérieure Paris-Saclay est inscrite dans la tradition d'excellence des écoles normales supérieures, elle offre une formation culturelle et scientifique de très haut niveau. Elle prépare ses élèves à mener une carrière dans l'enseignement supérieur et la recherche, la haute administration et les entreprises.

L'ENS Paris-Saclay dispense, par un suivi personnalisé de ses élèves normaliens et étudiants, une formation à et par la recherche, mêlant théorie et applications et favorisant l'interdisciplinarité. Les trois instituts fédératifs de recherche, chacun dans leurs domaines scientifiques, interagissent avec les 13 laboratoires de recherche et les 12 départements d'enseignement pour offrir à chacun la possibilité de construire son parcours et d'exprimer ses talents.

La singularité de l'École normale supérieure de Paris-Saclay est de rassembler des disciplines qu'aucun autre établissement d'enseignement supérieur ne rassemble de cette manière et à ce niveau : des sciences fondamentales (mathématiques, informatique, physique, chimie, biologie), des sciences humaines et sociales (économie, gestion, sociologie, histoire, langues, didactique), des sciences pour l'ingénieur (génie civil, génie mécanique, productique, électrotechnique et automatisme), le design. De par cette pluridisciplinarité intrinsèque, l'ENS est à l'image de la recherche qui s'ouvre sur le BIM, elle est vecteur de rencontres entre individus n'ayant pas le même langage disciplinaire.

Durant l'année scolaire 2019-2020, l'ENS Paris-Saclay emménagera dans ses nouveaux locaux sur le campus de l'université Paris-Saclay. Ce nouveau bâtiment est un vecteur fort des