



**HAL**  
open science

## **Le City Information Modelling (CIM) au service d'un projet urbain : retour d'expérience sur la première phase de mise en œuvre du CIM d'un quartier**

Adeline Deprêtre, Alexandre Mielniczek, Florence Jacquinod

### ► **To cite this version:**

Adeline Deprêtre, Alexandre Mielniczek, Florence Jacquinod. Le City Information Modelling (CIM) au service d'un projet urbain : retour d'expérience sur la première phase de mise en œuvre du CIM d'un quartier. Flux - Cahiers scientifiques internationaux Réseaux et territoires, 2023, N° 133 (3), pp.57-75. <10.3917/flux1.133.0057>. <hal-05241545>

**HAL Id: hal-05241545**

**<https://hal.science/hal-05241545v1>**

Submitted on 22 Sep 2025

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.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC 4.0 - Attribution - Non-commercial use - International License

**Titre français :** Le City Information Modelling (CIM) au service d'un projet urbain : retour d'expérience sur un la première phase de mise en œuvre du CIM d'un quartier

**Titre anglais:** City Information Modelling (CIM) for urban management: feedback on the first phase of a district CIM implementation

**Résumé :** De plus en plus de modèles, peu importe leur échelle (bâtiment, espace public, quartier, ville) sont mobilisés dans l'aménagement et sont considérés comme des outils favorisant la durabilité des projets et la collaboration des acteurs. Souvent enrichis d'informations sémantiques, ils portent des appellations différentes et sont techniquement très hétérogènes. Dans cet article, nous explorons la littérature scientifique qui se développe fortement autour du concept de City Information Model (CIM) et la confrontons à un retour d'expérience réalisé sur une démarche CIM déployée sur une zone d'aménagement concertée (ZAC). Notre enquête est réalisée en collaboration avec les acteurs du projet et dans les premières phases de la ZAC, afin de travailler avec les aménageurs sur les utilisations possibles du CIM du projet à l'échelle urbaine. Les entretiens se concentrent sur les aspects techniques et de gouvernance de ces modèles ainsi que sur les échanges entre acteurs. La confrontation des deux approches souligne un décalage entre les discours sur les CIM et leur concrétisation dans un projet rassemblant un grand nombre d'intervenants. Nous mettons ainsi en évidence la complexité de la définition d'un CIM, la nécessité de préciser les usages visés et la difficulté de mise en œuvre opérationnelle de la collaboration. Des pistes de recherches sont proposées pour consolider les connaissances théoriques et pratiques des maquettes numériques urbaines, telles que la collecte de données empiriques et la prise en compte des besoins des acteurs impliqués.

**Summary:** More and more models, whatever their scale (building, public space, district, city), are used in planning processes and are considered as tools to promote project sustainability and collaboration among actors. Often enriched with semantic information, they carry different names and are technically very heterogeneous. In this article, we explore the scientific literature strongly developing around the City Information Model (CIM) concept and confront it with a feedback on a CIM approach deployed on a concerted development zone (ZAC). Our investigation is performed in collaboration with stakeholders and in the early phases of the ZAC, in order to explore the possible uses of the CIM of the project at the urban scale. The interviews focused on the technical and governance aspects of these models and on the exchanges between actors. We highlight the gap between the discussions on CIM and their implementation in a project involving many contributors. We therefore point out the complexity of the CIM definition, the necessity to precisely describe CIM uses and the operational difficulties of collaboration among actors. We identify research areas to be investigated so as to consolidate the theoretical and practical knowledge of digital urban models, such as empirical data collection and the needs of involved actors.

**Mot-clefs :** CIM, Gouvernance, Retour d'expérience, Opérationnalisation

**Keywords :** CIM, Governance, Feedback, Operationalization

**Notice bibliographique des auteurs :**

Adeline Deprêtre est Architecte-Urbaniste et Docteur en Art de bâtir, Urbanisme et Génie Urbain. Dans ses recherches, elle s'intéresse à différentes thématiques liant architecture, urbanisme et maquettes numériques. Dans ce contexte, elle développe un indicateur d'intensité des usages dans une logique d'optimisation et de pérennisation des espaces ainsi qu'une méthode pour l'évaluer afin de réaliser des analyses urbaines spécifiques au moyen de maquettes numériques. [Adeline.DEPRETRE@umons.ac.be](mailto:Adeline.DEPRETRE@umons.ac.be)

Alexandre Mielniczek est Doctorant, rattaché au Laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information Géographique pour la ville intelligente et les territoires durables (LASTIG) ainsi qu'au laboratoire NAVIER de l'École des Ponts et Chaussées (ENPC). Il travaille sur l'écoconception des quartiers grâce aux maquettes numériques. [alexandre.mielniczek@enpc.fr](mailto:alexandre.mielniczek@enpc.fr)

Florence Jacquinod est enseignante-chercheuse à l'École des Ingénieurs de la Ville de Paris et dans l'équipe Geovis du Laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information Géographique pour la ville intelligente et les territoires durables (LASTIG) et travaille sur les usages des maquettes numériques urbaines pour l'aménagement. [florence.jacquinod@eivp-paris.fr](mailto:florence.jacquinod@eivp-paris.fr)

## INTRODUCTION

La numérisation du secteur urbanistique (Douay, 2018), notamment à cause de l'accroissement de la complexité des systèmes urbains (Delaître *et alii*, 2016 ; Dovey et Wood, 2015 ; Seto *et alii*, 2014) et des enjeux liés à l'aménagement du territoire comme la durabilité (Elmqvist *et alii*, 2018 ; ICSU et ISSC, 2015; Klopp et Petretta, 2017; United Nations, 2015), conduit à l'adoption de nouveaux outils pour la planification et la gestion des espaces. Diverses évolutions résultant de cette adaptation sont relevées au niveau des pratiques et des connaissances des concepteurs et au niveau des rôles et formations des acteurs (Alombert et Cristia, 2021 ; Christmann et Schinagl, 2022).

À l'échelle des bâtiments, quartiers et villes, cette numérisation se traduit notamment par la modélisation selon un processus BIM (Building Information Model) ou CIM (City Information Model). Ces méthodes de plus en plus généralisées à l'échelle du bâtiment (BIM) soulèvent divers questionnements à une échelle macroscopique comme le quartier ou la ville (CIM). À l'échelle de la ville, les usages des CIM et les normes afférentes (formats et modèles de données) dans le champ de l'aménagement et de la gestion du territoire restent à définir. Les conséquences des changements de méthodes et d'outils restent à explorer (Deprêtre et Jacquinod, 2021). La multiplication de ces nouveaux processus sociotechniques implique l'émergence et le développement de métiers spécifiquement destinés à ces nouveaux outils, interrogeant également les manières dont les acteurs doivent évoluer et collaborer au sein d'un écosystème commun en mutation. Dans le cas des maquettes numériques BIM et CIM, la littérature scientifique, en se focalisant sur un concept technique particulier considéré comme innovant ou « de rupture », conduit parfois à ignorer les pratiques professionnelles antérieures et/ou actuelles, peinant à identifier les apports réels de ces innovations techniques. De plus, le choix de focaliser sur des pratiques en fonction du label qui leur est donné conduit souvent à ne pas prendre en compte dans les travaux scientifiques, des réflexions et retours d'expériences menées avec des outils et techniques semblables, mais désignés par un terme différent. Il existe alors un danger de réflexion « en silo » et en partie déconnectée des pratiques et objectifs des urbanistes et aménageurs (Deprêtre, Jacquinod et Mielniczek, 2022).

Nous proposons de confronter la littérature scientifique qui se développe fortement autour du concept de CIM à un retour d'expérience sur la mise en œuvre d'un CIM lors de la première phase de conception et réalisation d'une ZAC (Zone d'aménagement concertée). Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un projet de recherche-action partenarial rassemblant l'Université Gustave Eiffel et la société Eiffage. À la suite d'entretiens avec des acteurs issus de l'écosystème du projet, nous proposons d'explorer le concept de CIM, ses apports projetés ou réalisés, le positionnement des acteurs et la collaboration autour du CIM. Notre démarche, qui repose sur le cas d'un écoquartier durant sa phase de construction, nous permet de repérer les convergences et différences entre les approches scientifiques du CIM, qui semblent parfois utopiques, et une de ses déclinaisons dans le champ professionnel. Une telle approche est forcément exploratoire et ne permet pas de généraliser sur l'ensemble des projets de CIM. Néanmoins, cette confrontation entre littérature scientifique et pratiques professionnelles met déjà en lumière plusieurs perspectives pour des travaux de recherches à venir.

Cet article présente d'abord une revue des diverses promesses retrouvées dans la littérature scientifique relative au CIM. La partie suivante présente notre cas d'étude qui constitue le socle de ce retour d'expérience : nous y présentons une analyse des réponses récoltées lors des entretiens. Enfin, la dernière partie nous permet de mettre en avant les proximités et différences relevées entre théorie scientifique et application opérationnelle et d'esquisser des pistes de recherche parfois semblables à celles dégagées dans des travaux sur d'autres types d'outils numériques.

### REVUE DES PROMESSES DES CIM DANS LA LITTÉRATURE SCIENTIFIQUE

#### MÉTHODE

Introduite il y a plus d'une décennie par Khemlani (2005), la notion de CIM est de plus en plus mise en avant avec l'objectif affiché de tirer parti dans les projets urbains des atouts des processus BIM, notamment en termes de gestion de projet et de coopération entre les intervenants des projets. Pour rappel, le processus BIM est considéré comme « l'utilisation d'une représentation numérique partagée d'un actif bâti pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation et former une base fiable permettant les prises de décision » (ISO, 2018). Concrètement, les démarches BIM organisent la production et les utilisations individuelles et collaboratives

de maquettes numériques des ensembles bâtis comprenant la modélisation géométrique des objets composants le projet (murs, fenêtres, portes, gaines, etc.), diverses caractéristiques de ces objets (composition, propriétés structurelles, thermiques, etc.) ainsi que des documents réglementaires et techniques associés (notice, autorisations d'urbanisme, rapport de conformité, etc.). Un format standard ouvert pour l'échange des données de ces maquettes numériques est développé depuis plusieurs dizaines d'années par le consortium BuildingSmart : le format IFC (Industry Foundation Classes). La démarche BIM désigne tout à la fois les maquettes numériques du projet, leur partage entre les différents acteurs, ainsi que la gestion (Building Information Management) des projets grâce à ces maquettes et processus collaboratifs. Pour certains chercheurs, cette « tendance » pourrait s'imposer dans la fabrique urbaine bien que les cas opérationnels soient encore peu nombreux (Alombert et Cristia, 2021).

Dans cette optique, un *City Information Model* (CIM) aurait pour objet de transposer l'approche BIM à l'échelle de la ville, ce qui induit à minima un changement d'échelle, une extension des types d'objets à représenter (par exemple réseaux, voirie, mobiliers urbains, végétation) mais appelle aussi à la définition de processus collaboratifs et de gestion de projets urbains associés. Néanmoins, cette transposition du BIM à l'échelle urbaine ne permet pas d'aborder l'ensemble des modèles numériques urbains. En effet, d'autres types de modèles numériques sont produits à l'échelle urbaine depuis plusieurs années, sous différents labels et avec des types d'outils et de données hétérogènes. Toutefois, il n'existe pas aujourd'hui de normes ou de standards partagés guidant la réalisation d'un modèle numérique urbain, bien qu'il existe une norme ouverte d'échange de données urbaines 3D, le CityGML (City Geography Markup Language). Cette norme, issue du monde géo-numérique, ne permet pas d'intégrer aisément des données issues d'un BIM, et n'atteint pas les mêmes niveaux de détails que les modèles BIM. Les modèles BIM, eux, ne sont pas toujours géoréférencés et permettent ainsi peu de croisements avec d'autres types de données, ce qui les rend insuffisants pour traiter une partie des questions se posant à l'échelle urbaine. Ainsi, pour aborder le concept de CIM, il nous a semblé nécessaire de considérer l'ensemble des modèles numériques urbains produits actuellement, sans se limiter strictement au label CIM, ni à la transposition d'une démarche BIM à l'échelle urbaine.

Pour tenter de définir précisément le concept de CIM, nous avons d'abord sélectionné un panel de documents à partir des bases de données scientifiques Scopus, ScienceDirect, Clarivate (anciennement WoS) et Semantic Scholar. Nous avons expérimenté plusieurs combinaisons (et/ou) de mots-clés telles que « 3D et City ou Urban et Modeling », « 3D et Urban ou City et Modeling », « City et Information et Modelling ou Modeling » afin de cibler les documents traitant des CIM en tant que modèles numériques pour la planification urbaine à l'échelle du quartier et/ou de la ville. Nous avons exclu la littérature des domaines non liés (médecine, mathématiques, énergie et agriculture et sciences biologiques) et nous nous sommes concentrés sur les 25 dernières années. Cette première étape nous a permis de constituer une collection de 74 documents. Une première sélection de documents a été faite par la lecture des résumés et des mots-clés. Puis, un deuxième examen a été effectué en lisant l'introduction et la conclusion, donnant un corpus de 56 documents scientifiques pertinents à analyser complètement pour cette revue de littérature. L'ensemble des références est listé en annexe 1.

#### APPROCHES THÉORIQUES DES CIM

De manière générale, les CIM sont décrits comme des modèles spatiaux à l'échelle urbaine englobant de nombreuses données et permettant des analyses au service d'aménagements plus durables (Duarte *et alii*, 2012 ; Gil *et alii*, 2009 ; Hamilton *et alii*, 2005 ; Thompson *et alii*, 2016). Certains auteurs ajoutent une dimension temporelle pour l'étude des évolutions des systèmes urbains (Sielker et Sichel, 2019). Concrètement, les CIM sont définis comme des maquettes numériques tridimensionnelles enrichies sémantiquement et qui sont le support de multiples tâches. Sur le plan technique cependant, la production et l'exploitation des CIM relèvent d'outils et de formats variés selon les chercheurs. Le label recouvre donc des objets techniques hétérogènes.

Le CIM est considéré par certains comme une extension des approches SIG (Système d'Information Géographique) par le couplage de diverses données qui permettent simulations et visualisations prospectives (Gil, Duarte et Almeida, 2011 ; Schiefelbein *et alii*, 2015). Une autre approche, qui se répand de plus en plus aujourd'hui, met en perspective le CIM comme une extension du BIM à une échelle plus large (Chen *et alii*, 2018 ; Correa, 2015 ; Müller, Broschart et Zeile, 2016). Dans cette approche, plusieurs modèles, qu'ils s'agissent d'infrastructures, de bâtiments ou d'espaces publics, sont modélisés dans un format BIM et représentent donc un projet et son environnement à l'échelle de l'espace public, du quartier ou de la ville. Cette modélisation est nommée BIM+ par Gil (2020).

L'intégration du BIM et du SIG ou encore leur utilisation dans un ensemble commun font l'objet de très nombreux travaux. En effet, plusieurs auteurs considèrent le CIM comme nécessitant l'association des formats ouverts BIM et SIG, à savoir l'IFC (Industry Foundation Classes) et le CityGML (Dall'O', Zichi et Torri, 2020 ; Müller, Boschart et Zeile, 2016 ; Xu *et alii*, 2014). Malgré les nombreuses études, des échanges de données complètement automatisés entre ces deux formats ne sont pas aujourd'hui possibles sans perte de données à cause des différences entre les deux formats ainsi que des modes d'utilisation et de gestion des formats et des données dans les pratiques professionnelles (Noardo *et alii*, 2020 ; Salheb, Arroyo Ochori et Stoter, 2020 ; Stouffs, Tauscher et Biljecki 2018 ; Tauscher, 2020). Enfin, d'autres auteurs définissent le CIM comme un modèle paramétrique de type CAO (Conception Assistée par Ordinateur) auquel des données SIG sont intégrées (Beirão, Montenegro et Arrobas 2012; Stojanovski, 2019).

Les formes que peut prendre un CIM, que ce soit en termes d'outils, de méthodes ou de données, sont diverses et ne permettent pas d'en donner une définition stable et précise. Dès lors, nous proposons d'utiliser comme définition les critères qui se retrouvent dans l'ensemble des travaux scientifiques (Berman, 2018 ; Bi *et alii*, 2021 ; Billen *et alii*, 2015 ; Dall'O', Zichi et Torri, 2020 ; Gil, 2020 ; Petrova-Antonova et Ilieva, 2019 ; Sielker et Sichel, 2019) et que nous listons ici :

1. Un CIM comprend une modélisation tridimensionnelle géoréférencée des bâtiments, des espaces et infrastructures publiques ainsi que l'aménagement de leurs abords afin de représenter l'espace aérien et souterrain, lorsque c'est possible et utile ;
2. Un CIM intègre des données sémantiques liées à la modélisation tridimensionnelle afin de pouvoir réaliser des simulations et des analyses ;
3. Un CIM doit permettre l'interopérabilité et la simplification des échanges de données ainsi que la collaboration entre les diverses parties prenantes au sein d'un même projet.

Les exemples concrets d'usages sont peu nombreux, limités à des thèmes particuliers et ne présentent pas de CIM couvrant un large spectre d'analyses urbaines. Les travaux menés sous le terme GeoBIM ont ainsi démontré l'intérêt d'un CIM issu de modèles BIM géoréférencés pour le traitement des permis de construire ou pour la gestion de patrimoine (bâtiment ou infrastructure) (Noardo *et alii*, 2020a ; Noardo *et alii*, 2020b ; Garramone *et alii*, 2020). D'autres travaux fondés sur des approches BIM+ ont démontré, sur des projets expérimentaux, l'apport de certains CIM pour les simulations d'ingénierie et parfois d'analyse urbaine. Ces approches tirent profit des informations géométriques et sémantiques (surface, matériaux, etc.) pour réaliser des simulations de microclimat sur des espaces publics (Sirakova, 2018), ou encore des simulations aérauliques, acoustiques et solaires et une analyse de cycle de vie sur le quartier de la Défense (Delval *et alii*, 2018). Par ailleurs, Deprêtre et Jacquinod (2021) expérimentent l'évaluation de l'intensité urbaine à l'échelle d'un quartier. Cette notion prend en considération de nombreuses dimensions des systèmes urbains dans une perspective de qualité, de dynamisme et d'attractivité.

Finalement, nombre d'auteurs mettent en avant le grand potentiel des CIM, sans pour autant toujours pouvoir en donner d'exemples concrets et malgré la très grande diversité des formes possibles. Il est donc difficile à ce jour pour qui se lance dans un projet CIM de savoir comment procéder pour développer un CIM concrétisant les bénéfices théoriques avancés dans la littérature. Dall'O', Zichi et Torri (2020) soulignent le grand potentiel des CIM pour les professionnels de l'urbanisme. Certains auteurs dépeignent les CIM comme une méthode de compréhension des systèmes urbains et d'intégration collaborative des divers intervenants afin d'aboutir à des aménagements plus durables et de meilleure qualité (Amorim, 2016 ; Billen *et alii*, 2015 ; Dantas, Sousa et Melo, 2019 ; Petrova-Antonova et Ilieva, 2019 ; Sielker et Sichel, 2019 ; Thompson *et alii*, 2016). Le CIM, vu comme fédérateur, est souvent considéré comme un instrument qui simplifie les tâches des acteurs dans le traitement des risques naturels, de l'accessibilité, ou encore de la mobilité (Khemlani, 2016). Alombert et Cristia (2021) ajoutent que le CIM pourrait permettre un transfert de connaissances concernant l'espace modélisé afin qu'ils soient partagés et discutés de manière collective.

## CAS D'ÉTUDE

La démarche E3S (Écoquartier Smart, Sobre et Secure), est un projet de recherche-action co-financé et codirigé par l'Université Gustave Eiffel et Eiffage afin d'explorer des modes innovants de conception et de construction. L'écoquartier La Vallée sert de terrain d'expérimentation et de démonstrateur pour des recherches sur divers thèmes comme la gestion des chantiers, la mobilité durable, la gestion de l'eau, mais également les outils numériques à travers la constitution d'un CIM du quartier. Nous travaillons dans ce projet sur l'exploration des usages du CIM, avec deux expérimentations (l'évaluation de l'intensité urbaine et l'écoconception à l'échelle du quartier). Sur ces deux expérimentations, le CIM a démontré son potentiel : avec quelques évolutions dans la production et l'organisation des données dans le CIM, les données issues du CIM permettent de réaliser des analyses urbaines et des analyses d'écoconception (Deprêtre et Jacquinod, 2021; Deprêtre *et alii*, 2022; Mielniczek, Roux et Jacquinod, 2022a, 2022b). L'enquête sur le CIM La Vallée fait partie de notre action de recherche au sein du projet et nous avons donc le soutien de l'aménageur pour solliciter les acteurs du projet. L'enjeu pour l'aménageur est d'établir des préconisations pour la suite de la démarche CIM sur le quartier grâce aux résultats produits dans le cadre du projet E3S.

Suite à l'état de l'art sur les maquettes numériques urbaines de type CIM dans la littérature scientifique, nous avons observé des divergences parfois importantes avec les pratiques professionnelles observées dans le cadre du projet E3S et dans d'autres projets en cours dont nous avons connaissance. Certains aspects, prégnants dans le champ opérationnel, restent très peu abordés dans la littérature scientifique. Nous avons donc mené une enquête auprès des acteurs de l'écoquartier La Vallée, afin de mettre en perspective l'état de l'art scientifique avec les pratiques professionnelles.

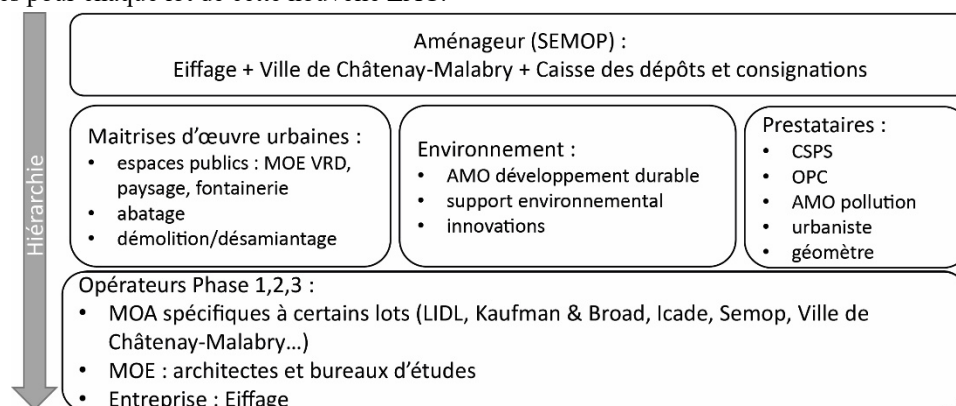
Le projet de La Vallée s'étend sur 20,6 hectares, sur la commune de Châtenay-Malabry, située dans les Hauts-de-Seine, à dix kilomètres au sud de Paris et en bordure du parc de Sceaux. Il consiste en la création de 2 200 logements, 36 500 m<sup>2</sup> de bureaux et 15 000 m<sup>2</sup> de commerces s'étalant de 2018 à 2027 en passant par 3 phases (cf. Figure 1).



**Figure 1 : Phases du projet La Vallée, réalisation des auteurs d'après Eiffage (2018)**

Source : Auteurs à partir des informations données par Eiffage (2018).

L'organigramme ci-dessous présente les différents acteurs impliqués dans le projet. Un groupement d'entités sous une SEMOP (Société d'Économie Mixte à Opération Unique) agit en tant qu'aménageur du site. Il transmet ses besoins et son programme à différents spécialistes (maîtres d'œuvre urbaines, environnement et autres prestataires) qui les traduisent en termes techniques et vérifient l'avancement des études et travaux des opérateurs sélectionnés pour chaque lot de cette nouvelle ZAC.



**Figure 2 : Carte des acteurs impliqués dans le CIM de La Vallée, réalisation des auteurs**

Source : Auteurs.

## PRÉSENTATION DU CIM DE LA ZAC

Dans le cadre de ce projet, la SEMOP a décidé de produire un CIM de l'ensemble de la ZAC qui puisse servir dans les phases de conception et construction, mais également être ensuite livré à la collectivité pour qu'il soit utile dans les phases d'exploitation et d'évolutions ultérieures du quartier.

Les objectifs du processus CIM sont décrits dans la "Convention technique CIM" comme suit :

1. Être capable de communiquer efficacement autour du projet
2. Assurer une conception et une réalisation de meilleure qualité par la mise en place d'un processus de travail collaboratif multidisciplinaire
3. Maîtriser les interfaces avec les projets connexes
4. Être capable d'anticiper au plus tôt des problématiques inter-lots pouvant intervenir lors de la conception et avant réalisation
5. Obtenir des modèles faisant vivre l'information pendant tout le cycle de vie du quartier.

Chaque intervenant du projet produit la maquette dédiée à son domaine d'expertise et la met à disposition sur une plateforme numérique commune, souvent appelée "environnement commun de données". Le CIM de la ZAC est donc un ensemble regroupant plusieurs maquettes numériques :

- Les maquettes bâtiment (généralement une maquette par lot),
- Les maquettes VRD (Voiries Réseaux Divers), avec une maquette par types de réseaux,
- Les maquettes de voiries, intégrant les routes, trottoirs et espaces verts,
- Les maquettes d'aménagement urbain, intégrant les arbres, l'éclairage public et le mobilier urbain,
- Les maquettes topographiques, représentant la topologie du terrain.

Pour chaque objet modélisé, des informations associées (type d'isolant pour les murs, type de réseaux enterrés, etc.) sont également présentes, constituant la dimension sémantique du CIM. Par exemple, la Figure 3 (droite) reprend les propriétés liées à une canalisation des réseaux d'assainissement.



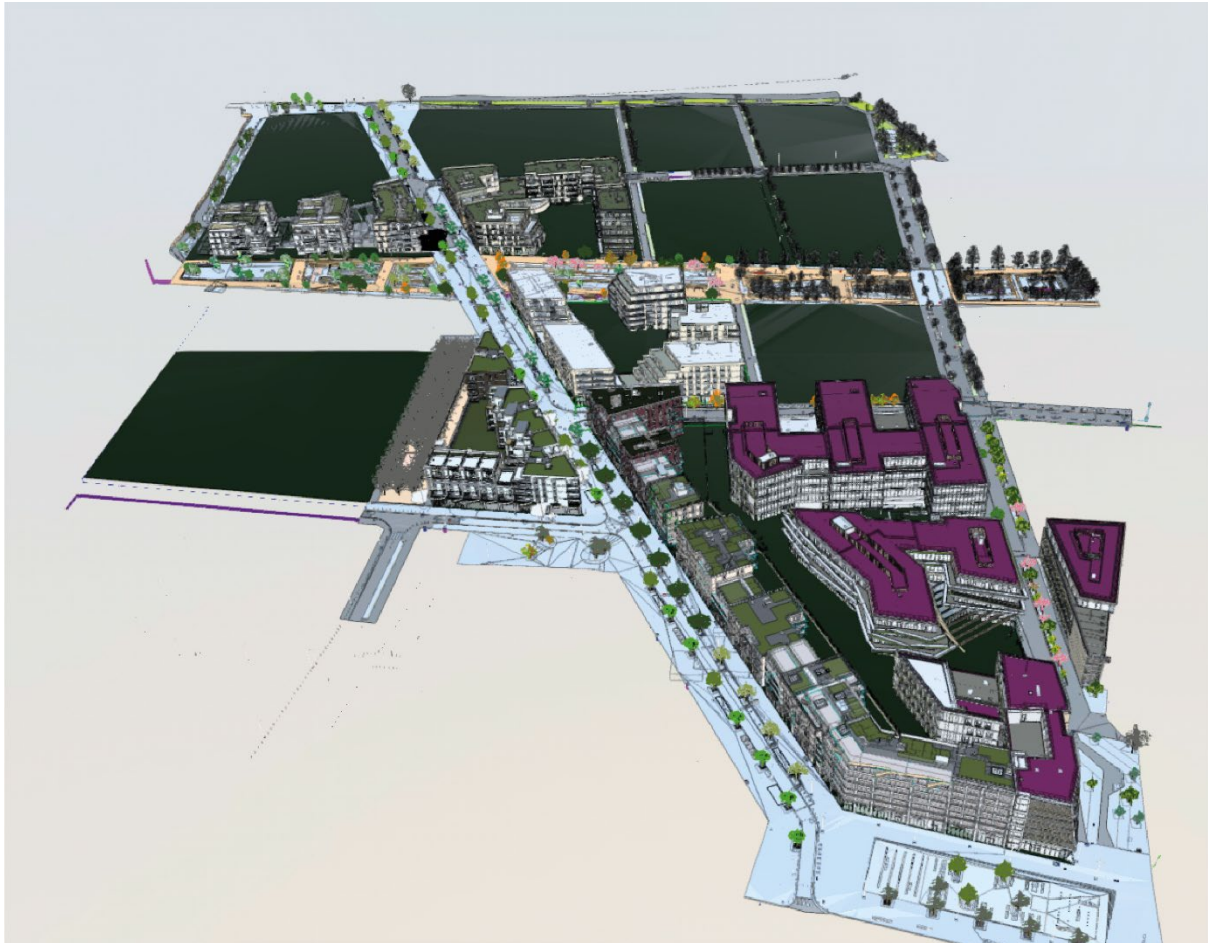
**Figure 3 : Détails sur la composition d'un CIM (gauche), Propriétés d'une canalisation d'eaux usées (droite), images réalisées par les auteurs à partir du CIM**

Source : Auteurs à partir du CIM, © Urbanita Architecture, Agence Pietri, Atelier Alfonso Femia, Leclercq Associés, Atelier M3, Atelier 2/3/4, BASE, OTCI, BLD Water.

En pratique, les productions diffèrent en qualité et en format. Ceci est dû au niveau de maîtrise technique de chaque intervenant et aux outils de production des maquettes numériques.. En effet, les logiciels utilisés diffèrent selon les métiers (architecture, réseaux et voirie, aménagements urbains), en fonction de leur capacité à modéliser et gérer les types d'entités spécifiques à chaque domaine. En conséquence, quatre formats propriétaires sont employés par les différents intervenants et trois formats d'échange sont utilisés pour la communication des données entre les acteurs. Les exports dans un même format d'échange de données aboutissent à des disparités selon le logiciel utilisé. Finalement, un nombre conséquent de données détaillées sont dans le CIM, offrant de

multiples possibilités d'exploitation bien qu'elles ne soient, pour le moment, pas toujours mises en forme en suivant les règles de la convention BIM/CIM du projet.

Au moment de notre enquête, le CIM de la ZAC est de précision hétérogène, reflet de l'avancement du projet (cf. figure 4). Les maquettes des espaces publics (routes, espaces verts, réseaux enterrés) sont d'ores et déjà disponibles pour toutes les phases (de 2018 à 2027). D'autres maquettes, produites par les entreprises d'exécution, sont livrées au fur et à mesure de l'avancement du projet.



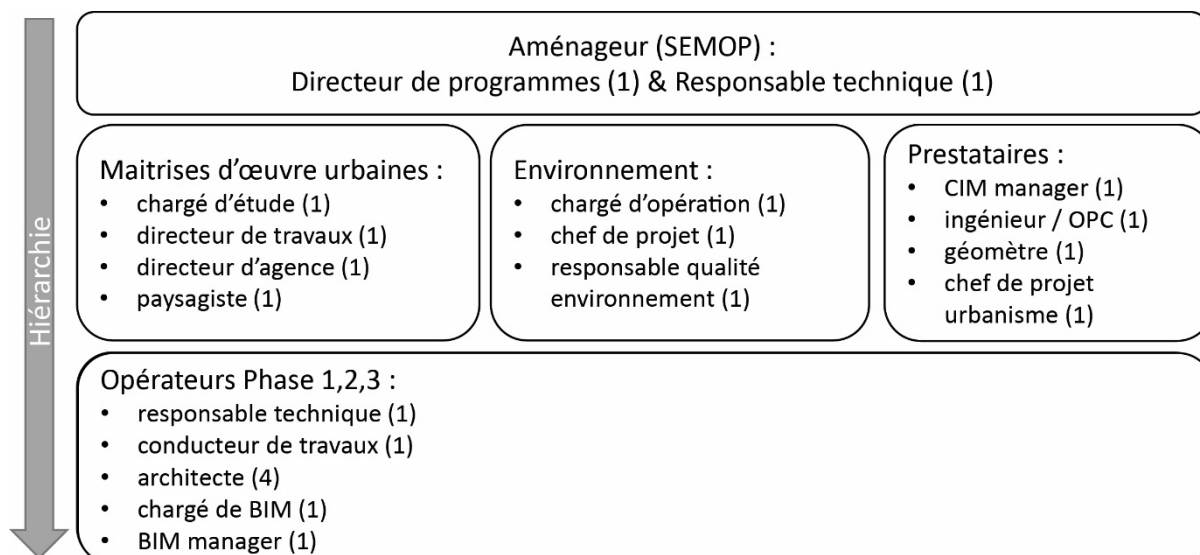
**Figure 4 : Modélisation et concaténation de la phase 1**

*Source : Auteurs à partir du CIM, © Urbanita Architecture, Agence Pietri, Atelier Alfonso Femia, Leclercq Associés, Atelier M3, Atelier 2/3/4, BASE, OTCI, BLD Water.*

## **RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE PAR ENTRETIENS**

### **MÉTHODE**

Nous avons mené des entretiens exploratoires avec 21 acteurs travaillant à la conception de la ZAC de La Vallée. Nous nous sommes attachés à recueillir les propos d'intervenants issus de toutes les strates du projet (Aménageurs, Maîtres d'œuvre, Consultants, Entreprises). Suivant l'organigramme du projet, nous avons interrogé au moins deux acteurs par strates (cf. figure 5). Les entretiens ont été menés sur une période courte (5 semaines) à une phase donnée du projet (livraison phase 1). Etant donné la temporalité du projet, les évolutions professionnelles de certains acteurs et l'intervention d'acteurs différents en phase concours et en phase de développement, nous n'avons que peu de retours sur les phases de concours. Toutefois, le panel constitué favorise une vision à la fois transversale (entre les diverses Maîtrises d'Œuvre (MOE)) et verticale (entre la SEMOP, la MOE et la Maîtrise d'Ouvrage (MOA)) du CIM pour la phase 1 du projet.



**Figure 5 : Nombre d'interviews et types d'acteurs interviewés par strates et grands ensembles du projet, réalisation des auteurs**

Source : Auteurs.

Ces entretiens dits qualitatifs (Bréchon, 2011) avaient pour objectif de recueillir les raisonnements et représentations des acteurs interrogés quant au CIM de La Vallée et à la démarche qu'il induit. Les réponses ont été simplement enregistrées et non contestées. Deux chercheurs de notre équipe ont mené ensemble les entretiens par visioconférence. Les échanges ont été cadrés par un guide d'entretien, contextualisé en fonction de la position de la personne interrogée au sein de la Maîtrise d'Ouvrage (MOA) ou de la Maîtrise d'Œuvre / Exécution (MOE/EXE). Les réponses ont été anonymisées pour que les répondants puissent s'exprimer plus librement. Ces entretiens ont duré entre quarante minutes et une heure trente en fonction des intervenants. Le guide d'entretien comportait une trentaine de questions (34 pour les acteurs MOA ou 32 pour les acteurs MOE/EXE).

## SYNTHÈSE DES ENTRETIENS

### Le CIM défini en fonction du modèle de la ZAC

Lorsqu'ils sont interrogés sur ce qu'est un CIM, les enquêtés proposent une définition à partir du CIM du projet, qui est souvent le seul qu'ils connaissent. Ils décrivent donc un CIM comme étant un modèle BIM+. Questionnées sur les caractéristiques d'un CIM de manière générale, les personnes interrogées donnent des réponses peu précises et très hétérogènes, ce qui ne permet pas de lister des caractéristiques communes à l'ensemble des acteurs. En effet, près de la moitié des répondants, en particulier pour la partie maîtrise d'ouvrage, ne donnent pas de réponse. Quelques-uns pensent que la caractéristique principale réside dans l'assemblage de BIM. D'autres considèrent que le cahier des charges est l'une des caractéristiques principales d'un CIM, puisqu'il en définit tous les aspects et en fixe les objectifs. Certains répondants caractérisent le CIM comme une synthèse globale du projet, tandis que d'autres le caractérisent par une représentation tridimensionnelle ou le géoréférencement. Ces diverses réponses peuvent s'expliquer par le manque de détails concernant les caractéristiques d'un CIM dans le cahier des charges, l'implication parfois trop segmentée des acteurs nuisant à la vision d'ensemble du CIM de La Vallée ou encore par le manque d'utilisation du CIM ne permettant pas de percevoir ses caractéristiques concrètes.

L'aspect collaboratif du CIM est peu cité alors qu'une plateforme collaborative a été mise en place pour l'ensemble des intervenants du projet. En pratique, les outils et normes permettant collaboration et interopérabilité sont diversement connus et utilisés par les acteurs du projet. Les outils utilisés sont souvent ceux déjà utilisés dans chacun des métiers, bien qu'une poignée d'intervenants précisent avoir dû changer d'outils. L'environnement commun de données, indispensable pour rassembler et échanger les informations entre partenaires, n'est cité que par un petit nombre d'enquêtés comme un outil du projet CIM. Concernant les normes professionnelles partagées et nécessaires à la construction multi acteurs d'un CIM, un quart des interviewés prend comme norme la

convention élaborée pour le projet, étant donné qu'elle détaille quelque peu les codifications. Les normes relatives à l'organisation et la numérisation et à la modélisation des informations des bâtiments et structures (BIM 19650 et NF17412) sont revenues chez un nombre mineur d'interviewés. Il est donc intéressant de remarquer que plusieurs interviewés ne citent aucun document de référence ou norme. Du point de vue des nomenclatures employées, un peu moins de la moitié des répondants disent suivre les codifications habituelles de leur agence. Les autres emploient soit la convention spécifique au projet, qu'il est pour eux important d'améliorer, soit des protocoles plus largement partagés dans le champ professionnel tels que l'Omniclass et l'Unifomat (méthode de classification des objets par un code à lettre et chiffres).

### **Une vision des usages du CIM éloignée de la réalité opérationnelle**

Il est intéressant de constater que, pour les mêmes raisons, la plupart des interviewés, quelques soient leur spécialité et rôle, disent ne pas avoir de cas d'usage spécifique du CIM dans le cadre de leur intervention dans le projet. Ces acteurs n'ont jamais pu utiliser de maquette CIM auparavant, limitant les cas d'usages qu'ils peuvent anticiper. Ainsi, les usages cités par les acteurs du projet sont majoritairement théoriques et expriment ce qui leur semblerait atteignable et non ce qui est réellement fait à ce jour grâce au CIM du quartier.

Plus de trois quarts des interviewés pensent que le CIM permet de superposer des strates des systèmes urbains. Néanmoins, ils ne citent que des éléments physiques (VRD/IoT - Internet Of Things) et des usages éprouvés du BIM (Visualisation/Gestion interfaces-synthèse), sans jamais aborder la possibilité de superposer également les strates sociales ou économiques, ou les informations usuellement stockées dans des SIG (transport en commun, catégorie de revenus, etc.).

Le processus CIM est cité comme un facteur d'amélioration de la conception et d'optimisation de la durabilité des aménagements. La plupart des acteurs interrogés ne semblent pas avoir pour ambition de se servir du CIM. Ils y voient principalement un intérêt pour les maîtrises d'ouvrages en phase GEM (Gestion Exploitation Maintenance), c'est-à-dire, en aval de leur propre intervention dans le projet.

Pourtant, le CIM du projet est effectivement utilisé, par quelques intervenants, pour des revues de projet et principalement de la synthèse technique, reproduisant des usages courants des modèles BIM en phase conception et construction. Ainsi, les acteurs qui fournissent les modèles individuels ne sont pas forcément ceux qui vont les utiliser. Par ailleurs, y compris au niveau de la MOA et du CIM management, des utilisations du CIM allant au-delà de l'exploitation connue des modèles BIM sont imaginées sans que leur mise en œuvre ne puisse être clairement planifiée à ce stade, faute de méthodes déjà établies.

### **Un processus pesant, avec peu d'impact sur le positionnement des acteurs mais favorisant la collaboration**

D'un point de vue général, les interrogés disent, pour beaucoup, ne pas ressentir de changement dans leur positionnement, que ce soit en interne ou vis-à-vis des autres acteurs. Néanmoins, quelques-uns (plutôt côté maîtrise d'œuvres et entreprises) mettent en évidence que la conception selon un processus CIM engendre parfois davantage de tâches demandées par les autres acteurs par rapport à un projet traditionnel. Cet élargissement de mission et le changement d'environnement de travail impactent à la fois le temps de travail, mais aussi les coûts de production de certaines agences, étant donné qu'ils n'ont pas d'ajustement d'honoraires et qu'il est nécessaire pour eux de monter en compétences et de se former.

Ils indiquent également que de nouveaux acteurs sont introduits dans les phases plus en amont, par rapport à un projet traditionnel (sans CIM) ce qui impacte la communication entre acteurs et nécessite des règles spécifiques par exemple pour l'échange de maquettes. Ils apprécient toutefois être davantage en contact avec des acteurs de fonctions identiques à la leur dans d'autres entreprises, car ils se sentent moins isolés. Au niveau de leur travail, le format CIM demande aussi que les divers acteurs avec qui ils collaborent soient compétents en la matière, ce qui conduit parfois à changer les méthodes et habitudes de travail.

Les répondants pensent, pour la moitié d'entre eux, qu'il y a davantage de collaboration et de coordination au niveau des acteurs dans un projet en CIM. Ils limitent néanmoins cette collaboration à la phase de conception, sans l'envisager en phase chantier. Pour un quart des répondants, il n'y aura pas de changement dans les interactions entre les acteurs dans les phases suivantes du projet. Quelques-uns précisent que les échanges et interactions, qui sont déjà plus abondants que dans des projets sans CIM, devraient l'être encore plus grâce aux nouvelles habitudes adoptées. Pour quelques autres, l'évolution se situera davantage au sein de leur agence grâce

à l'intégration directe du processus de type CIM dès le début de la prochaine phase. Ils précisent qu'il est indispensable de forcer le changement en donnant directement des instructions précises afin que les apports potentiels du CIM deviennent réalité. Cette implication collective semble être une évolution souhaitée par une poignée d'entre eux.

Les interviewés notent également que les prochaines phases devraient être simplifiées par rapport à la première, grâce à la quantité d'informations échangées en pleine confiance avec les autres intervenants. Cela permet de mieux connaître et comprendre le projet global et facilite la synthèse. Concrètement, les réponses de la moitié des intervenants montrent qu'ils utilisent peu de données déjà modélisées dans le CIM afin de produire leur propre maquette. Certains parmi ceux-ci indiquent qu'ils n'y ont pas accès ou ne savent pas comment y accéder. Au total, uniquement un quart des interviewés dit y intégrer des informations et l'employer à des fins de compréhension du projet des autres équipes.

En ce qui concerne la gestion transversale des acteurs avec le CIM, 6 interviewés ne ressentent aucune différence avec les projets sans CIM tandis que 8 personnes soulignent un changement qu'il soit au niveau de la conduite du projet, des productions de l'interaction ou encore de la communication. À ce stade, des appréhensions concernant les probables coûts et difficultés de communication supplémentaires se font ressentir.

### **Un bilan mitigé et des perspectives floues pour le monde opérationnel**

Les réponses des acteurs sur les perspectives sont très diverses. Trois quarts des acteurs interrogés pensent que le CIM va s'imposer pour la fabrique urbaine sous forme de concaténation de BIM ainsi que pour des analyses urbaines spécifiques. Néanmoins, certains (comme les acteurs appartenant à la maîtrise d'ouvrage) ajoutent qu'il le sera à long terme et majoritairement pour des projets de grande envergure. D'autres interrogés pensent qu'il s'impose déjà pour de grands projets, même si, pour certains d'entre eux, il restera un complément aux méthodes actuelles. Une minorité des interrogés pense que ce processus CIM ne va pas s'imposer par rapport au processus traditionnel et que par rapport à leur tâche, la plus-value est minime par rapport à l'investissement financier et temporel.

La limite principale du CIM, qui risque d'empêcher son développement est, pour un quart des répondants, la lourdeur à cause de la quantité de données modélisées, leur niveau de détail ainsi que le versionning qui pourrait rendre le CIM inutilisable. Pour un autre quart des interviewés, les règles de confidentialité et de propriété intellectuelle sont impactantes tandis que pour une minorité, la limite se situe au niveau de l'impact environnemental de la consommation énergétique nécessaire au stockage des données. Dans un autre registre, certains interviewés pensent que la nécessité de formation constitue une limite au processus CIM.

Enfin, concernant spécifiquement le CIM La Vallée, la connexion du CIM avec une plateforme SIG n'est pas une évolution connue ou prévue par les répondants. Cependant, plus d'un quart pense qu'il s'agirait d'une idée très pertinente à l'échelle du territoire. La mise à disposition à d'autres acteurs en dehors du projet et/ou à un public plus large comme les riverains pourrait être mise en œuvre par la collectivité qui va gérer le quartier une fois livré. À ce stade néanmoins, la collectivité n'a pas encore évalué le potentiel du CIM actuel. Sa réutilisation en phase GEM, vue comme l'intérêt principal du CIM par les acteurs de la conception et de la réalisation du projet, est suspendue à son appropriation par la collectivité.

## **DISCUSSION**

Notre enquête a été réalisée alors que la phase 1 de la ZAC (cf. figure 1) était en cours de livraison et que les autres phases étaient en cours de conception et de réalisation. Étant donné le stade d'avancement du projet et donc du CIM, nous ne pouvons tirer de conclusions définitives sur ce que ce CIM pourra apporter au territoire. Néanmoins, notre enquête rend compte d'une phase de mise en œuvre d'un concept technique considéré comme innovant et pour lequel des méthodes établies et partagées n'existent pas encore. Un retour d'expérience, même partiel, issu de l'ensemble des intervenants sur un quartier avec une démarche CIM mise en œuvre dès les premières phases de conception reste rare et permet d'esquisser de premières pistes de recherche. Ces pistes pourront être complétées par des travaux complémentaires et un retour d'expérience sur les phases suivantes.

### **UN CONCEPT THÉORIQUE QUI REFLÈTE MAL LA RÉALITÉ OPÉRATIONNELLE**

La revue de littérature a montré que le CIM était souvent présenté comme un idéal à atteindre, plein de promesses, mais pouvant prendre des formes techniquement hétérogènes et sans que l'on ne sache vraiment le distinguer

d'autres types de maquettes numériques urbaines. Ainsi, les caractéristiques communes des CIM relevées dans la littérature ne permettent pas de distinguer un CIM d'autres types de modèles numériques équivalents appelés parfois Digital urban model, Digital twin/jumeau numérique, etc. (Gil, 2020 ; Deprêtre, Mielniczek et Jacquinod, 2022). Les caractéristiques précises qui feraient d'un CIM un outil particulièrement innovant restent à déterminer précisément.

Sur ce point, les entretiens menés nous éclairent peu dans la mesure où les définitions obtenues des acteurs du projet correspondent au type BIM+ du CIM La Vallée. Peu semblent avoir assez de recul sur les CIM pour en donner une définition formelle. Ils citent plutôt les éléments qu'ils manipulent et qui sont liés à la démarche CIM du quartier La Vallée (documents contractuels, outils et/ou nomenclatures, selon leurs interactions avec le CIM).

Toutefois, il ressort de la confrontation avec l'étude de cas que les définitions des chercheurs sont à la fois très génériques et basées sur des caractéristiques plus techniques qu'organisationnelles. Deux critères dans la littérature sont la modélisation tridimensionnelle géoréférencée et sémantique, le troisième étant la collaboration entre acteurs que permet le CIM. Malgré cela, dans l'ensemble des travaux recensés sur les CIM, presque aucun ne développe de théorie sur l'aspect organisationnel du CIM. Or, si l'on regarde la littérature sur le BIM, les recherches se sont développées sur ces aspects organisationnels et de management une fois que le standard commun IFC a été utilisable et utilisé en pratique dans des projets multi-acteurs (Celnik et Lebègue, 2015). Le BIM qui était d'abord défini comme une maquette numérique est maintenant décrit comme un mode de gestion de projet par la majorité des chercheurs et des praticiens. Dans cette perspective, le cas La Vallée montre très clairement que le CIM d'un quartier est composé d'une multitude de modèles faits par des acteurs différents, dans des formats différents et que le CIM d'un projet urbain ne peut exister que si un CIM management en définit les contours et règles de fonctionnement. Les entretiens soulignent que le CIM est autant un ensemble de données qu'une démarche de projet.

Un constat similaire peut être fait sur des aspects plus techniques comme les formats de stockage des données du CIM. Dans la littérature, la majorité des travaux se focalisent sur le verrou technique des échanges entre IFC et CityGML, soit deux formats standards ouverts (un pour les projets de construction et un pour les villes numériques). En pratique, l'IFC est déjà difficile à produire et à utiliser pour les acteurs qui travaillent majoritairement dans d'autres formats natifs avec leurs outils métiers. Le CityGML, quant à lui, existe depuis de nombreuses années et reste peu utilisé en raison de sa complexité qui a d'ailleurs déjà conduit à proposer des déclinaisons du même standard plus facile à utiliser pour certaines tâches (CityJSON notamment). Sur ce sujet, la littérature scientifique, en focalisant sur les échanges entre deux formats standards difficiles à mobiliser par les acteurs opérationnels, reste très éloignée de la réalité d'un CIM comme celui du quartier La Vallée et laisse de côté nombre de verrous liés aux processus et jeux d'acteurs afférents. En ignorant les processus sociotechniques dans lesquels s'insèrent les différents usages des CIM, les chercheurs risquent d'avoir du mal à proposer des méthodes de manipulation des données qui soient facilement utilisables par les acteurs opérationnels.

#### UNE VISION DES USAGES À AFFINER

La littérature scientifique relève une multitude d'usages théoriques du CIM, grâce auquel la qualité et la durabilité des aménagements seraient grandement améliorées. Néanmoins, les retours d'expérience sont peu nombreux et limités à des expérimentations sur des thèmes particuliers, loin du CIM idéal, plateforme de gestion conjointe de l'ensemble des strates urbaines et permettant une gestion harmonieuse de la transversalité grâce à une collaboration entre acteurs facilitée.

L'étude sur le quartier La Vallée montre à la fois les mêmes objectifs génériques et ambitieux portés par la maîtrise d'ouvrage en début de projet et des usages concrets plus limités à ce stade. Le CIM de La Vallée était censé, à l'origine, être exploité par la collectivité. Certains acteurs ont précisé que ces objectifs avaient été revus à la baisse, suite à l'absence d'intérêt exprimé par la collectivité pour le moment. Ainsi, contrairement à l'idée d'un « CIM bien commun » développée par certains auteurs, le CIM La Vallée, s'il n'était pas utilisé par la collectivité, ne pourrait servir de support pour le partage de connaissance de l'espace modélisé avec les citoyens. Notre enquête intervient trop tôt pour savoir ce qui arrivera en phase GEM. Par contre, elle permet de relever une partie des obstacles à la réalisation de ce potentiel du CIM du quartier.

Sur les usages pour le projet en cours, les entretiens révèlent l'intérêt d'une connaissance patrimoniale grâce au CIM. Néanmoins, pour la majorité des acteurs du projet, l'intérêt principal du CIM est la visualisation du modèle notamment pour la communication et la synthèse technique. Dans la littérature, Bi *et alii* (2021) mentionnent le CIM comme moyen d'éviter les erreurs et les conflits entre les divers éléments modélisés, grâce à la synthèse

technique. Bien que certaines interférences techniques aient été détectées grâce aux maquettes, on note que le potentiel théorique souligné par la littérature n'est pas complètement réalisé dans l'opérationnel à ce jour. Dans les entretiens réalisés, les intervenants mentionnent que plusieurs erreurs se retrouvent en phase de construction sur chantier. Cela peut être aisément expliqué par la complexité du projet, les difficultés liées aux formats d'échanges de données déjà évoquées, ainsi que par une collaboration en pratique plus limitée que ce qui avait été projeté. De plus, à l'échelle du bâtiment, n'est modélisée que la partie architecturale, oubliant le modèle des fluides et des réseaux électriques ainsi que la maquette structurelle. En pratique, n'avoir que les maquettes architecturales ne permet pas une coordination technique aussi aboutie qu'avec l'ensemble des lots techniques.

#### INTERACTIONS ET COLLABORATION MITIGÉES ET PLUS COMPLEXES QU'ANTICIPÉES

Nombreux sont les auteurs promouvant, dans la littérature, les aspects interactionnels entre les diverses parties prenantes et domaines sectoriels d'un projet dans un processus CIM (Dantas, Sousa et Melo, 2019; Sielker et Sichel, 2019; Thompson *et alii*, 2016). Or, comme nous l'avons relevé, l'impact sur les positionnements des acteurs semble peu significatif, au moins à ce stade du projet. Ils indiquent qu'ils ne pensent pas que cela va évoluer dans les prochaines phases du projet. Seulement trois répondants disent avoir acquis des compétences, interagir avec de nouveaux profils et cumuler de nouvelles tâches.

Un point soulevé par ce retour d'expérience qui n'est pas évoqué dans la littérature scientifique est l'adhésion des acteurs à la démarche CIM. Dans notre cas, la plupart des acteurs interrogés ne se sentent pas très impliqués dans la démarche CIM. Cela se traduit par l'absence d'envoi (ou à des intervalles très espacés dans le temps) de leurs maquettes pour leur concaténation dans le CIM ou encore, par la non-exhaustivité de certaines maquettes reprenant très peu d'informations ou de propriétés liées aux modèles géométriques. N'ayant pas de vision large des usages possibles du CIM (pour des analyses, simulation et en phase GEM), certains ne voient pas l'intérêt d'ajouter certaines informations sémantiques à la modélisation géométrique.

L'augmentation de la charge de travail liée au CIM est également citée dans les interviews alors que, selon les chercheurs, le processus CIM devrait simplifier les tâches et alléger la charge sur les concepteurs (Khemlani, 2016). Ce constat rejoint d'autres travaux soulignant que les techniques numériques comme le CIM sont surtout marquées par un processus d'amélioration graduel se construisant également sur des échecs (Guéranger & Mathieu-Fritz, 2019). Pour le projet La Vallée, le déploiement d'une démarche CIM a plutôt ajouté de nouvelles tâches et créé de nouveaux métiers. Un allègement semble plus réaliste dans le cas d'une démarche CIM bien appropriée par les acteurs et pour laquelle l'ensemble de ceux-ci ont été formés permettant l'évolution de certaines procédures et habitudes de travail. Le sujet des évolutions professionnelles nécessaires pour atteindre les bénéfices projetés du CIM est peu évoqué dans la littérature, ce qui l'éloigne encore un peu plus de la réalité des pratiques professionnelles. Dans nos entretiens, plusieurs acteurs ont indiqué ne pas s'appuyer sur le CIM pour réaliser leurs maquettes et donc, ne s'appuyer sur aucune donnée modélisée censée les aider dans leur tâche. Les échanges se font principalement en dehors de la plateforme CIM dans le cas du projet La Vallée, et seuls certains acteurs l'utilisent concrètement. Ainsi, le rôle de cette plateforme collaborative pour la conception est, pour l'instant, bien plus limité que ce qui est imaginé dans la littérature scientifique.

Enfin, la littérature met en avant l'amélioration de la compréhension des systèmes urbains grâce au CIM. Dans la pratique, ni le projet La Vallée, ni les autres projets de CIM recensés dans la littérature ou dans notre veille ne contiennent l'ensemble des éléments constituant les systèmes urbains, notamment les variables difficilement représentables comme les comportements humains ou encore les interactions qui se produisent dans un espace donné. De ce point de vue, cet objectif est à affiner pour correspondre à une réalité opérationnelle.

#### QUELLES PERSPECTIVES POUR LES CIM ?

Finalement, par rapport aux projections des chercheurs, notre étude montre des usages opérationnels du CIM plus limités. Bien que nous n'ayons étudié qu'un seul cas en profondeur, il nous semble probable que les limites rencontrées dans le projet La Vallée soient susceptibles d'être rencontrées dans d'autres projets de même envergure. D'une part, aucun retour d'expérience dans la littérature ne se base sur un cas opérationnel avec autant d'acteurs. D'autre part, comme nous l'avons montré, de nombreux aspects sont ignorés par la littérature. Les limites des CIM sont ainsi rarement prises en considération dans la littérature. Les réponses des interviewés, en revanche, rappellent qu'un CIM peut contenir tellement d'éléments qu'il en est inutilisable à moins d'avoir des machines très puissantes, sans parler de la complexité dans l'interaction avec le modèle et de l'empreinte carbone de tels modèles hébergés en ligne. Les questions de confidentialité, de propriété intellectuelle et de formation des acteurs sont également au cœur des discours des entretiens et des préoccupations des acteurs publics (DGE, 2021),

alors que rares sont les chercheurs qui abordent la complexité de la démarche et des outils nécessaires. Enfin, les travaux très techniques sur les formats standards semblent également mettre de côté les difficultés opérationnelles d'utilisation de ces formats, pourtant connues, ces formats étant relativement anciens. Étant donné la complexité d'un CIM et le nombre et la diversité d'acteurs impliqués dans un projet urbain, il n'est pas étonnant que son efficacité soit longue à atteindre et demande un raffinement des méthodes et une évolution des pratiques. Au-delà des angles morts de la recherche déjà cités, il semble donc nécessaire de prendre au sérieux les CIM dans toute leur complexité et de se donner les moyens d'observer leur déploiement dans des contextes opérationnels afin de mieux les comprendre. Cette compréhension est indispensable pour les définir plus clairement et proposer des méthodes permettant effectivement de développer des CIM ouverts, avec une gouvernance favorable à la collaboration et à la diffusion des informations ainsi créées. L'observation des interactions des professionnels avec ces nouveaux outils et processus suivant les méthodes développées par la sociologie des sciences et techniques (Akrich *et alii*, 2006) ont montré leur efficacité pour des outils de même niveau de complexité. On peut notamment citer les études de Dominique Vinck sur les outils de visualisation 3D dans la construction automobile ou sur les logiciels de type ERP (Enterprise Resource Planning) (Vinck *et alii*, 1999; Vinck et Penz, 2008).

Les analyses de cas opérationnels sont également indispensables pour déceler les évolutions dans les rapports entre acteurs. Dans le cas de La Vallée, la complexité du CIM, la nouveauté de la pratique et les difficultés opérationnelles rencontrées ayant amené à revoir les ambitions à la baisse ne nous ont pas permis d'observer pleinement ces effets. Pourtant, certains entretiens font déjà ressortir le déplacement des tâches d'un acteur à l'autre et l'absence de compensation financière pour compenser l'augmentation de la charge de travail. Comme dans le cas du BIM, de tels effets ont toutes les chances de se développer avec la généralisation du CIM sur les grands projets urbains, telle qu'elle est anticipée par les professionnels.

Plus largement, les sujets abordés dans ce retour d'expérience font écho à différents travaux déjà réalisés sur d'autres types de données et d'outils numériques, en particulier ceux sur les différents projets de "Smart City". Étant donné le flou sur les définitions de nombreuses innovations considérées comme "de rupture", comme c'est le cas pour les CIM et les Digital Twin par exemple, il semble légitime d'élargir les approches théoriques pour mieux les comprendre et les analyser. De manière générale, l'étude des continuités dans la mise en œuvre de démarches CIM apparaît aussi nécessaire et porteuse qu'elle l'est dans l'étude des projets de "Smart City", comme l'a montré Jeannot (2019). Par ailleurs, comme le souligne Meijer (2018), la question de l'adoption des outils innovants par les acteurs semble corrélée à la bonne compréhension par les producteurs de données des bénéfices qu'eux ou d'autres acteurs pourraient en tirer. Un des défis pour la mise en place de CIM utiles tout au long du cycle de vie d'un quartier ou d'une ville est donc de faire connaître à l'ensemble des acteurs les apports concrets du CIM, qui rendra sa production attractive. Cela demande évidemment de pouvoir décrire précisément ces apports concrets. Au vu des contraintes qu'imposent la mise en place d'un CIM et qui ressortent clairement dans notre enquête, il semble également indispensable de prendre en compte le travail parfois aussi fastidieux qu'ingrat des producteurs de données, souvent invisibles dans les projets « smart » comme noté par Guéranger et Mathieu-Fritz (2019). Cette reconnaissance est probablement une voie pour faciliter l'adhésion des producteurs de données à un projet de CIM et ce, d'autant plus que certains d'entre eux ne bénéficieront pas ou peu du travail qu'ils auront réalisé. La nécessité d'une vision complète de l'ensemble du processus semble également nécessaire pour que les usages imaginés très en aval, comme l'utilisation en GEM dans notre cas d'étude, soit simplement rendus possible. Comme le souligne Courmont (2019) à propos des projets d'Open Data, il est nécessaire de "déliier les attachements de la donnée" pour la rendre autonome, et donc diffusable, en Open Data. De même, pour que les données du CIM puissent être partagées à différents publics, il faut que cette diffusion soit anticipée et que les données puissent être sélectionnées et mises en forme aisément. Sinon, le risque de renoncement à la diffusion, pour des raisons de difficultés techniques ou de sécurité, est grand. Par ailleurs, ces usages futurs du CIM, affichés et désirés par les acteurs, amènent à interroger les moyens qui leur sont dédiés. Comme le souligne Peugeot (2019), il y a parfois une dissymétrie entre les ambitions affichées et les moyens alloués. Dans le cas du CIM La Vallée, des moyens ont été mobilisés dans le cadre du projet E3S pour anticiper les réutilisations du CIM par la collectivité, notamment au travers des expérimentations techniques que nous avons menées sur l'évaluation de l'intensité urbaine et la réalisation d'analyses de cycle de vie grâce au CIM. Cependant, il semble indispensable que la collectivité soit associée en amont à la démarche CIM, pour qu'elle soit capable de l'utiliser quand le quartier sera livré. Malheureusement, pour des raisons de moyens et pour des raisons politiques, les échanges avec la collectivité sur ce sujet n'ont pu avoir lieu pour le moment. La difficulté à mobiliser les acteurs aux moments-clés sur des projets aussi longs et complexes pourrait bien être un frein rencontré dans d'autres projets de même

envergure. Ce constat rejoint également les travaux de Jeannot (2019) qui cite la convergence entre les régimes sociotechniques des collectivités et les possibilités offertes par les projets de “Smart City” comme un facteur pouvant faciliter ou au contraire brider une démarche. Bien qu’ils nous semblent potentiellement féconds sur la base de nos premiers résultats, ces rapprochements demandent à être étudiés plus précisément à la fois sur le cas La Vallée, mais également dans d’autres projets de CIM, pour estimer leur validité à partir de données empiriques.

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Le retour d’expérience sur le projet La Vallée a permis de mettre en lumière les convergences et différences entre les travaux scientifiques sur le CIM et la pratique sur un projet urbain. Au-delà de l’utilité de ces analyses pour la maîtrise d’ouvrage du quartier, impliquée dans un projet de recherche-action afin de tirer le meilleur parti de ce premier CIM à la fois opérationnel et expérimental, ce retour d’expérience a également mis en avant des angles morts des travaux de recherche, expliquant en partie les divergences repérées entre recherche et opérationnel.

Les lacunes des travaux de recherche actuels nous semblent être de plusieurs ordres. Premièrement, il nous semble que les chercheurs manquent aujourd’hui de connaissances sur les pratiques professionnelles autour des maquettes numériques urbaines. Cela concerne les relations et interactions entre les divers et nombreux acteurs impliqués et les évolutions de ces jeux d’acteurs induits par la mise en place d’une démarche CIM, qui n’a rien d’anodin. Cela concerne aussi la complexité technique liée à la mise en œuvre d’une démarche CIM, qui ne peut être réduite à la question de l’échange de données entre des formats standards.

De plus, sur certains sujets, il semble qu’il y a un manque de données empiriques qui viendraient confirmer les usages et avantages du CIM tels qu’imaginés théoriquement par les chercheurs. Nous pouvons citer l’exemple de la question de la charge de travail qui augmente pour certains acteurs alors qu’elle devrait baisser d’après les chercheurs s’étant intéressés au CIM. Devant un tel conflit, la récolte de données empiriques pour affiner les analyses et compléter et/ou faire évoluer les éléments théoriques semble indispensable.

Enfin, certains acteurs et certaines phases semblent avoir été laissés de côté et/ou peu explorés. Ainsi, le CIM est présenté dans la littérature comme un outil contenant de très nombreuses informations, qui va grandement améliorer la qualité et la durabilité des aménagements, mais également mener à une gouvernance plus efficace et plus partagée des espaces urbains par les acteurs publics. Cependant, la production de ces éléments par une myriade d’acteurs publics et privés lors des phases de conception et réalisation de projets semble laissée de côté. Or, le CIM ne pourra réaliser le potentiel qui lui est attribué que s’il est effectivement et efficacement réalisé par l’ensemble des acteurs impliqués dans les projets de nouveaux quartiers ou de renouvellement urbain. Ces acteurs, leurs besoins et leurs objectifs ne peuvent être ignorés. Les aspects organisationnels et de management, surtout les aspects spécifiques à l’échelle urbaine et non étudiés dans les travaux sur le BIM, ont aussi besoin être approfondis.

Pour finir, il nous semble essentiel de réfléchir aux manières de simplifier le plus possible les méthodes en clarifiant les objectifs et leurs déclinaisons opérationnelles. En effet, pour que le CIM soit effectivement un outil au service des collectivités et des citoyens, les processus doivent être transparents et mobilisables par ces acteurs. Cela nécessite des formats ouverts et efficaces du point de vue de la pratique, mais également le développement de formations pour tous les acteurs ainsi que la simplification maximale des processus pour éviter les boîtes noires et l’accaparement du champ par une poignée d’experts, qui décideraient seuls de ce qui ferait la qualité et la durabilité des aménagements.

## ANNEXES

ANNEXE : LISTE DES RÉFÉRENCES SUR BASE DESQUELLES LA REVUE DE LITTÉRATURE A ÉTÉ RÉALISÉE:

Alashi A.T.Y., Koramaz T.K., 2019, Towards City Information Modeling : A Multidisciplinary Platform for Urban Planners. *Handbook of Research on Digital Research Methods and Architectural Tools in Urban Planning and Design*, p.105-120. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9238-9.ch006>

al Furjani A., Younsi Z., Abdulalli A., Elsaeh M., Almahdi A., Jouili K., Lashihar S., 2020, *Enabling the City Information Modeling CIM for Urban Planning with OpenStreetMap OSM*, p. 3-5.

Almeida F., Andrade M., 2018, *Considerações sobre o conceito de City Information Modeling*. Vol. 4, n°1, p.21-38.

Alombert A., et Cristia E., 2021, L'espace urbain à l'épreuve de la révolution numérique : Nouvelles technologies urbaines et intelligence collective, *Technologie et innovation*, Vol. 6, n°3. <https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2021.0657>

Amorim A., 2015, Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, Vol. 10, n°2, p.87-99. <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.103163>

Amorim A., 2016, Cidades Inteligentes e City Information Modeling. *Blucher Design Proceedings*, p.481-488. <https://doi.org/10.5151/despro-sigradi2016-440>

Beirão J., Montenegro N., Arrobas P., 2012, City Information Modelling : Parametric urban models including design support data. *Portuguese Network of Urban Morphology*, p.1122-1134. <https://doi.org/10.1080/13574809.2015.1092378>

Beirão J. N., Mendes L. T., Celani G., 2015, O uso do CIM (City Information Modeling) para geração de implantação em conjuntos de habitação de interesse social : uma experiência de ensino. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, Vol. 10, n°2, p;101-112. <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.102564>

Berman J. J., 2018, *Principles of big data: Preparing, sharing, and analyzing complex information* (2<sup>e</sup> éd.), Amsterdam: Elsevier, Morgan Kaufmann.

Bi T., Zhou F., Yang X., Zhu Y., Diao X., 2021, Research on the Construction of City Information Modelling Basic Platform Based on Multi-source Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 693, n°1, 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/693/1/012021>

Biljecki F., Stoter J., Ledoux H., Zlatanova S., Çöltekin A., 2015, Applications of 3D City Models : State of the Art Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 4, n°4, Article 4. <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>

Billen R., Cutting-Decelle A.-F., Marina O., de Almeida J.-P. M. C., Falquet G., Leduc T., Métral C., Moreau G., Perret J., Rabin G., San Jose R., Yatskiv I., & Zlatanova S., 2014, 3D City Models and urban information : Current issues and perspectives: European COST Action TU0801, *3D City Models and urban information : Current issues and perspectives – European COST Action TU0801*, EDP Sciences, p. 1-118. <https://doi.org/10.1051/TU0801/201400001>

Chen K., Lu W., Xue F., Tang P., et Li L. H., 2018, Automatic building information model reconstruction in high-density urban areas: Augmenting multi-source data with architectural knowledge, *Automation in Construction*, Vol. 93, p. 22-34. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.009>

Correa F., Santos E., 2015, Na direção de uma Modelagem da Informação da Cidade (CIM). *Encontro brasileiro de tecnologia de informação e comunicação na construção*, Porto Alegre, 2015. <https://doi.org/10.5151/engpro-tic2015-032>

Da Silva Almeida F. A., Andrade M. L. V. X., 2018, *Considerações sobre o conceito de City Information Modeling*. Vol.4, n°1, p.21-38.

Dall'O' G., Zichi A., Torri M., 2020, Green BIM and CIM: Sustainable Planning Using Building Information Modelling, *Green Planning for Cities and Communities: Novel Incisive Approaches to Sustainability*, Springer International Publishing, p. 383-409. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8_17)

Dantas H. S., Sousa J. M. M. S., Melo H. C. (2019). The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 225, 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012074>

Delval T., Jolibois A., Carré S., Aguinaga S., Mailhac A., Brachet A., Soula J., Deom, S., 2018, Building/city information model for simulation and data management. In J. Karlshøj & R. Scherer (Éds.), *EWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction* (1<sup>re</sup> éd). CRC Press, p. 137-145 <https://doi.org/10.1201/9780429506215-18>

Duarte J. P., Beirão J. N., Montenegro N., et Gil J., 2012, City Induction: A Model for Formulating, Generating, and Evaluating Urban Designs, in Arisona S. M., Aschwanden G., Halatsch J. et Wonka P. (eds.), *Digital Urban Modeling and Simulation* (Vol. 242, p. 73-98), Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-29758-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-29758-8_5)

Garramone M., Moretti N., Scaioni M., Ellul C., Re Cecconi F., et Dejacó M. C., 2020, BIM and GIS integration for infrastructure asset management: a bibliometric analysis, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-4-W1-2020, p. 77-84. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VI-4-W1-2020-77-2020>

Gil J., 2020, City Information Modelling: A Conceptual Framework for Research and Practice in Digital Urban Planning. *Built Environment*, Vol. 46, n°4, p. 501-527. <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.501>

Gil J., Beirão J. N., Montenegro N., Duarte J. P., 2010, Assessing Computational Tools for Urban Design: Towards a "city information model". *eCAADe proceedings*. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2010.361>

Gil J., Duarte J. P., Almeida, J., 2011, The backbone of a City Information Model (CIM). *ECAADe*, Vol. 29, p.143-151.

Hägglöf D., Salminen A., 2015, *City Information Model—CIM*. Mälardalen University.

Hamilton A., Wang H., Tanyer A. M., Arayici Y., Zhang X., Song Y., 2005, *Urban Information Model for city planning*. p. 55-67.

Huang J., 1995, *Dynamic Urban Information Model: Integrated Approach to Strategic Urban Redevelopment*. p. 399-416.

Khemlani L., 2005, Hurricanes and their aftermath: How can technology help? *AECbytes*.

Khemlani L., 2016, City Information Modeling: AECbytes Feature. *AECbytes*. <https://www.aecbytes.com/feature/2016/CityInformationModeling.html>

Kolbe T. H., Donaubaauer A., 2020, *Semantic 3D City Modeling and BIM*. p. 609-636. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6\\_34](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_34)

Lee S.-H., Park J., Park S. I., Jang, Y.-H., 2016. *An urban flooding simulation technique by using 3D City Information Model*.

Melo H. C., Tomé S. M. G., Silva M. H., Gonzales M. M., Gomes D. B. O., 2019, Implementation of City Information Modeling (CIM) concepts in the process of management of the sewage system in Piumhi, Brazil. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 225, n° 1, 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012076>

Mityagin S. A., Vlasov V., Tikhonova O., Rudicova L., Repkin A. I., 2020, City Information Modeling : Designing a Conceptual Data Model., *Electronic Governance and Open Society : Challenges in Eurasia* (Vol. 1349. Springer International Publishing, p. 219-231 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-67238-6_16)

Montenegro N., Beirão J. N., Duarte J. P., 2011, *Towards a CIM standard for urban public space*. P.79-86.

Montenegro N., Duarte, J. P., 2009, Computational Ontology of Urban Design : Towards a City Information Model. *eCAADe proceedings*, Vol. 1. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2009.253>

Müller M., Broschart D., Zeile P., 2016, *City Information Modelling – Potenziale für eine intelligente Stadtplanung*. [http://programm.corp.at/cdrom2016/files/CORP2016\\_proceedings.pdf](http://programm.corp.at/cdrom2016/files/CORP2016_proceedings.pdf)

Noardo F., Ellul C., Harrie L., Overland I., Shariat M., Ohori K. A., et Stoter J., 2020, Opportunities and challenges for GeoBIM in Europe: Developing a building permits use-case to raise awareness and examine technical interoperability challenges, *Journal of Spatial Science*, Vol. 65, n°2, p. 209-233. <https://doi.org/10.1080/14498596.2019.1627253>

Noardo F., Harrie L., Arroyo Ohori K., Biljecki F., Ellul C., Krijnen T., Eriksson H., Guler D., Hintz D., Jadidi M. A., Pla M., Sanchez S., Soini V.-P., Stouffs R., Tekavec J., et Stoter J., 2020, Tools for BIM-GIS Integration (IFC Georeferencing and Conversions): Results from the GeoBIM Benchmark 2019, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 9, n°9, 502. <https://doi.org/10.3390/ijgi9090502>

Pereira A., Buzzo M., Zimmermann I., Neto F., Malgarezi H., 2021, A Descriptive 3D City Information Model Built From Infrastructure BIM : Capacity Building as a Strategy for Implementation. *International Journal of E-Planning Research*, Vol.10, p. 1-14. <https://doi.org/10.4018/IJEPR.20211001.0a9>

Petrova-Antonova D., et Ilieva S., 2019, Methodological Framework for Digital Transition and Performance Assessment of Smart Cities, *4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, p. 1-6. <https://doi.org/10.23919/SpliTech.2019.8783170>

Reitz T., Schubiger S., 2014, The Esri 3D city information model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.18. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012172>

Salheb N., Arroyo Ohori K., et Stoter J., 2020, Automatic conversion of CityGML to IFC, *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIV-4/W1-2020*, p. 127-134. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W1-2020-127-2020>

Schaufler, C., & Schwimmer, E. (2020). City Information Modeling – an expedient tool for developing sustainable, responsive and resilient cities? *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 588, 032005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032005>

Schiefelbein J., Javadi A., Lauster M., Remmen P., Streblov R., 2015, Development of a city information model to support data management and analysis of building energy systems within complex city districts. *CISBAT 2015*, p. 949-954.

Sielker F., et Sichel A., 2019, *Future Cities in the Making: Overcoming barriers to information modelling in socially responsible cities*. <https://doi.org/10.17863/CAM.43318>

Silva J. F., da Silva R. K. A., dos Santos M. O., Lopes M. G. P., Barros I. D. O., Moreira E. B. M., Ferreira H. D. S., 2017, Análise conceitual do Building Information Modelling-BiM e City Information Modelling-CiM e contribuições na construção das cidades sustentáveis. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, Vol.2, n°3, p.341-348. <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1473.341-348>

Sirakova T. A., 2018, *Urban Planning: From GIS and BIM straight to CIM. Practical application in the urban area of Porto* [Thèse de Master en ingénierie civile]. Université de Porto.

Souza L., Bueno C., 2022, City Information Modelling as a support decision tool for planning and management of cities : A systematic literature review and bibliometric analysis. *Building and Environment*, Vol. 207, 108403. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108403>

Stojanovski T., 2019, City Information Modelling (CIM) and Urban Design. *ECAADe*, p.507-516.

Stojanovski T., Partanen J., Samuels I., Sanders P., Peters C. (2020). Viewpoint : City Information Modelling (CIM) and Digitizing Urban Design Practices. *Built Environment*, Vol. 46, n°4, p. 637-646. <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.637>

Stoter J., Arroyo Ohori K., Dukai B., Labetski A., Kumar K., Vitalis S., Ledoux H., 2020, *State of the Art in 3D City Modelling : Six Challenges Facing 3D Data as a Platform*.

Stouffs R., Tauscher H., et Biljecki F., 2018, Achieving Complete and Near-Lossless Conversion from IFC to CityGML. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Vol. 7, n°9, 355. <https://doi.org/10.3390/ijgi7090355>

Tauscher H., 2020, Towards a generic mapping for IFC-CityGML data integration, *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLIV-4/W1-2020*, p. 151-158. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W1-2020-151-2020>

Thompson E. M., Greenhalgh P., Muldoon-Smith K., Charlton J., et Dolník M., 2016, Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors, *Urban Planning*, Vol: 1, n°1, p. 79-94. <https://doi.org/10.17645/up.v1i1.556>

Xu X., Ding L., Luo H., Ma L. (2014). From Building Information Modeling to City Information Modeling. *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 19, p.292-307.

Xu Z., Qi M., Wu Y., Hao X., Yang Y. 2021, City Information Modeling : State of the Art. *Applied Sciences*, Vol. 11, n°19, 9333. <https://doi.org/10.3390/app11199333>

Xue F., Wu L., Lu W. (2021). Semantic enrichment of building and city information models : A ten-year review. *Advanced Engineering Informatics*, Vol. 47, 101245. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101245>

## **BIBLIOGRAPHIE :**

Akrich M., Callon M. et Latour, B., 2006, *Sociologie de la traduction—Textes fondateurs*, Presses de l'École des mines de Paris.

Alombert A., et Cristia E., 2021, L'espace urbain à l'épreuve de la révolution numérique : Nouvelles technologies urbaines et intelligence collective, *Technologie et innovation*, Vol. 6, n°3. <https://doi.org/10.21494/ISTE.OP.2021.0657>

Bi T., Zhou F., Yang X., Zhu Y., Diao X., 2021, Research on the Construction of City Information Modelling Basic Platform Based on Multi-source Data. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 693, n°1, 012021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/693/1/012021>

- Bréchon P., 2011, *Enquêtes qualitatives, enquêtes quantitatives*. Presses universitaires de Grenoble.
- Celnik O. et Lebègue, É., 2015, *BIM et maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction* (2e éd), Paris : Eyrolles CSTB éditions.
- Christmann G. B. et Schinagl M., 2022, Digital urban planning and urban planners' mediatised construction of spaces, in Christmann, G. B., Knoblauch H., Löw M. (eds) *Communicative Constructions and the Refiguration of Spaces*, Londres: Routledge.
- Courmont A., 2019, Ce que l'open data fait à l'administration municipale. La fabrique de la politique métropolitaine de la donnée. *Réseaux*, Vol. 218, n° 6, p. 77-103. <https://doi.org/10.3917/res.218.0077>
- Dantas H. S., Sousa J. M. M. S., et Melo H. C., 2019, The Importance of City Information Modeling (CIM) for Cities' Sustainability, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 225, 012074. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012074>
- Delaître M., Nardo M. D., Gonzva M., Barroca B., et Diab, Y., 2016, Échelles spatiales et approches méthodologiques pour l'analyse de la vulnérabilité. D'une approche sectorielle vers une approche systémique. *Espace populations sociétés*, n° 3. <https://doi.org/10.4000/eps.7044>
- Deprêtre A., et Jacquino F., 2021, Evaluating urban intensity through a City Information Model – Intermediate results from an action research project. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VIII-4/W2-2021, 153-160. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-VIII-4-W2-2021-153-2021>
- Deprêtre A., Jacquino F., et Mielniczek A., 2022, Exploring Digital Twin adaptation to the urban environment: Comparison with CIM to avoid silo-based approaches. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, V-4-2022, p. 337-344. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-V-4-2022-337-2022>
- DGE. (2021). *De la smart City à la réalité des territoires connectés* (Les dossiers de la DGE, p. 312). Ministère de l'économie, des finances et de la relance.
- Douay N., 2018, *L'urbanisme à l'heure du numérique*, Londres : LoISTE Group.
- Dovey K., et Wood S., 2015, Public/private urban interfaces: Type, adaptation, assemblage, *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, Vol. 8, n°1, p.1-16. <https://doi.org/10.1080/17549175.2014.891151>
- Eiffage Aménagement., 2018, *La Vallée à Châtenay-Malabry*.
- Elmqvist T., Bai X., Frantzeskaki N., Griffith C., Maddox D., McPhearson T., Parnell S., Romero-Lankao P., Simon D., et Watkins M., 2018, *Urban Planet: Knowledge towards Sustainable Cities*, Cambridge University Press.
- Gil J., 2020, City Information Modelling: A Conceptual Framework for Research and Practice in Digital Urban Planning. *Built Environment*, Vol. 46, n°4, p. 501-527. <https://doi.org/10.2148/benv.46.4.501>
- Guéranger D., Mathieu-Fritz A., 2019, Smart city at work. Intermédiation sociotechnique et « souveraineté de la donnée » dans une administration locale. *Réseaux*, Vol. 218, n°6, 41-75. <https://doi.org/10.3917/res.218.0039>
- ICSU et ISSC., 2015, *Review of Targets for The Sustainable Development Goals: The Science Perspective* International Council for Science, p. 34.
- ISO., 2018, ISO 19650-1:2018(fr), Organisation et numérisation des informations relatives aux bâtiments et ouvrages de génie civil, y compris modélisation des informations de la construction (BIM)—Gestion de l'information par la modélisation des informations de la construction—Partie 1 : Concepts et principes. ISO. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-1:ed-1:v1:fr>

Jeannot G., Maghin V., 2019, La ville intelligente, de l'administration à la gouvernance. La difficile intégration des données des usagers par une métropole. *Réseaux*, Vol. 218, n°6, p.105-142. <https://doi.org/10.3917/res.218.0105>

Khemplani L., 2016, City Information Modeling : AECbytes Feature, *AECbytes*. <https://www.aecbytes.com/feature/2016/CityInformationModeling.html>

Klopp J. M., et Petretta, D. L., 2017, The urban sustainable development goal: Indicators, complexity and the politics of measuring cities, *Cities*, Vol. 63, p. 92-97. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.12.019>

Mielniczek A., Roux C., Jacquinod F. 2022a, Toward enhanced ecodesign of urban project thanks to City Information Modelling. *SETAC Europe 32nd Annual Meeting*. <https://hal.science/hal-03673665>

Mielniczek A., Roux C., Jacquinod F., 2022b. *City Information Modelling for lifecycle assessment*.

Seto K. C., Dhakal S., Bigio A., Blanco H., Delgado G. C., Dewar D., Huang L., Inaba A., Kansal A., Lwasa S., McMahon J., Müller D. B., Murakami J., Nagendra H., et Ramaswami A., 2014, Human Settlements, Infrastructure, and Spatial Planning, In *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415416>

Sielker F., et Sichel A., 2019, *Future Cities in the Making: Overcoming barriers to information modelling in socially responsible cities*. <https://doi.org/10.17863/CAM.43318>

Thompson E. M., Greenhalgh P., Muldoon-Smith K., Charlton J., et Dolník M., 2016, Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors, *Urban Planning*, Vol: 1, n°1, p. 79-94. <https://doi.org/10.17645/up.v1i1.556>

United Nations., 2015, *The 2030 Agenda for Sustainable Development*.

Vinck D., Blanco E., Garrigou A., Jeantet A., Lavoisy O. et Lécaille P., 1999, *Digital Mock-up Visualisation in Product Conception and Downstream Processes. Task 1.5 Virtual World Sociological and Ergonomical Aspects (SEA)* (Information Document DMU-VI/1.5/3S-CRISTO/D1.5.4; p. 49).

Vinck D. et Penz B., 2008, *L'équipement de l'organisation industrielle. Les ERP à l'usage*. Hermès science publication, Lavoisier.