

## 1 Introduction

Un Building Information Model (BIM) est un modèle 3D comportant de nombreuses informations sur un bâtiment. Plus qu'une simple description de sa géométrie, un BIM contient des informations sémantiques sur les constituants du bâtiment (murs, fenêtres, portes...). Le standard le plus utilisé pour représenter un BIM est l'Industry Foundation Classes (IFC).

Aujourd'hui, la réalisation de ces BIM se fait souvent au moment de la conception du bâtiment. Toutefois, pour des constructions plus anciennes, ces modèles n'existent pas et il devient nécessaire de les créer à partir de l'existant. Ce processus est long et coûteux et requiert des experts très qualifiés. C'est pourquoi la recherche s'intéresse à l'automatisation ou à la semi-automatisation de cette tâche. Ce document tente de recenser différentes méthodes issues de la littérature.

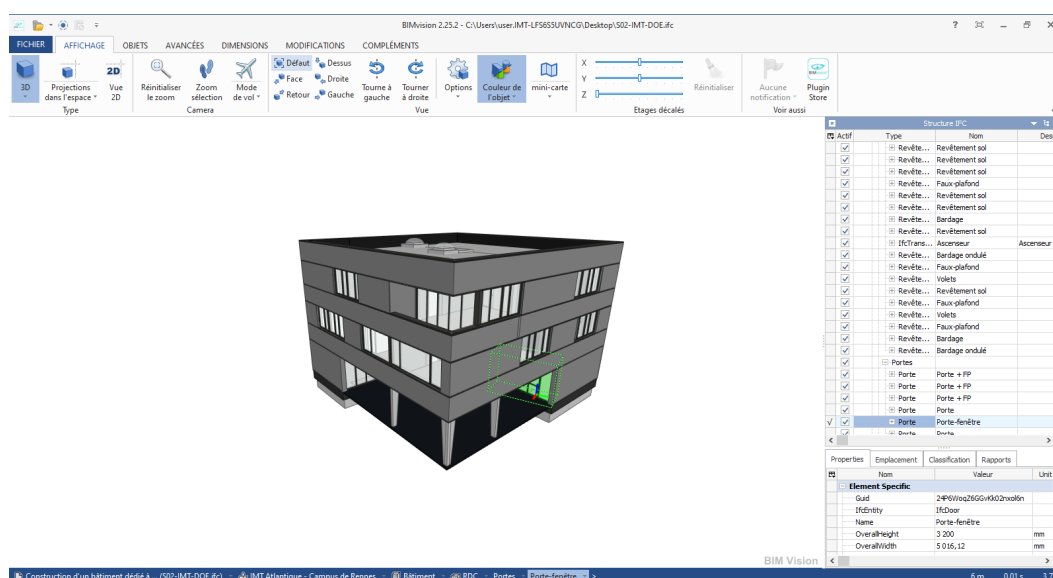


FIGURE 1 – Visualisation d'un fichier BIM au format IFC dans le logiciel BIMVision

## 2 Méthodologie

Cette recherche s'effectue dans un contexte de visant à dupliquer des bâtiments existants afin d'améliorer la visualisation de données de cybersécurité dans un environnement 3D.

Le domaine du BIM est vaste et il a donc été nécessaire de restreindre la présente étude selon leur sujet d'étude. Il a ainsi été décidé que les articles choisis devraient se concentrer sur la génération de BIM pour des bâtiments déjà existants et non encore à construire. La notion d'automatisation ou de semi-automatisation doit être un des objectifs des recherches. Les auteurs doivent proposer en résultat un modèle 3D d'un bâtiment sémantisé au moins en partie (sont par exemple exclus les articles s'intéressant à l'analyse d'un plan d'architecture sans chercher à le transformer en modèle 3D).

Le choix a été fait de limiter les articles à après 2010 afin de ne garder que les pratiques relativement modernes. Une exception a cependant été faite pour les recherches de Dosch et al.[1]. En effet, bien que ces travaux datent de l'an 2000, ils ont inspiré des auteurs plus récents, les méthodes employées sont toujours d'actualité et la solution développée apparaît comme extrêmement complète, peut-être même plus que certaines solutions modernes.

La recherche d'articles a été effectuée via le moteur Google Scholar en utilisant les recherches suivantes :

- Scan to BIM
- BIM point cloud
- 2D plans to BIM

- architecture plans to BIM
- image to BIM
- automatic labelling of 3D models of buildings

Les articles n'ayant pas été obtenu via ces recherches l'ont été en étudiant les sources d'autres articles obtenus, eux, par une de ces recherches.

Grâce aux restrictions imposées sur les articles pouvant apparaître dans cette étude, nous pensons avoir réussi à obtenir un aperçu relativement complet des techniques de génération de BIM existantes. Les recherches auraient pu être étendues afin d'inclure les articles élaborant des outils qui pourraient s'appliquer à terme à la génération de BIM, mais nous pensons que cela n'était pas nécessaire considérant le contexte de cette étude.

### 3 Scan-to-BIM

Diverses méthodes sont employées pour pouvoir générer automatiquement un BIM. La méthode du scan-to-BIM reçoit dernièrement beaucoup d'attention dans la littérature. Il s'agit d'effectuer un scan laser des parties d'un bâtiment que l'on souhaite modéliser afin d'obtenir un nuage de points qui sera ensuite traité.

Il a de plus été récemment proposé par Adán et al.[2] d'automatiser même l'acquisition de ces nuages de points via une plateforme robotique autonome. La plateforme décrite embarque pour cela plusieurs capteurs en plus du laser servant au scan, à savoir des caméras RGB et thermique et un laser permettant de détecter les obstacles sur le chemin.

Pătrăucean et al.[3] exposent les limitations inhérentes à cette approche qui font qu'un BIM reconstruit ne peut pas être aussi bon qu'un BIM élaboré au moment de la conception :

- certaines informations telles que le coût ne peuvent pas être déduite du simple modèle 3D et requiert les connaissances d'un expert
- le modèle est limité par la résolution utilisée lors de l'acquisition des données et il n'est de toutes façons pas forcément pertinent d'augmenter cette résolution au-delà d'un certain point
- certains éléments importants du bâtiment seront cachés lors de la prise de donnée, tels que l'installation électrique ou la tuyauterie

Au vu de ces limitations, les auteurs identifient quatre sous-tâches qui peuvent être employées pour faciliter l'obtention du meilleur BIM possible :

- la détection de primitives géométriques tels que des plans dans le nuage de point
- le regroupement des points en cluster afin de segmenter le nuage
- trouver les paramètres permettant de faire concorder au mieux un ensemble de points et une forme paramétrique
- classer et labéliser les différents segments obtenus précédemment

Ainsi, Benarab et al.[4], qui se concentrent sur la modélisation extérieure de bâtiments, utilisent une approche statistique pour segmenter les points en plusieurs plans correspondant aux différentes façades du bâtiment. Ils font appel à l'algorithme RANSAC consistant à sélectionner aléatoirement trois points pour définir un plan. Une fonction de coût est ensuite calculée en fonction du nombre de points très éloignés du plan, cette valeur est stockée et trois nouveaux points sont choisis aléatoirement. Le plan avec la meilleure fonction de coût est choisi et l'algorithme s'arrête lorsque la probabilité d'obtenir un meilleur plan devient suffisamment faible.

Les nuages de points utilisés par les auteurs disposent de données colorimétriques. Il est alors envisageable de ne choisir que des points appartenant à une même classe de couleur pour accélérer l'algorithme.

Une utilisation de RANSAC est également faite par Jung et al.[5] et Tamke et al.[6] tandis que l'algorithme MLESAC, qui est une amélioration de RANSAC est utilisé par Macher et al.[7] ainsi que Adán et al.[2] pour la détection de plan.

Il est à noter que Tamke et al.[6] font une utilisation légèrement différente de l'algorithme. En effet, ils l'utilisent pour générer des plans infiniment longs, puis ils déterminent lesquels pourraient être des murs via un algorithme de minimisation d'énergie.

Une approche différente est prise par Xiong et Huber [8]. Les auteurs choisissent ainsi de regrouper les points en voxels de taille donnée et d'associer à chacun une normale moyenne. Un algorithme de region growing pour regrouper ensemble les voxels ayant une normale similaire et ainsi obtenir des régions planes.

Plutôt que de chercher à détecter directement les plans, Tran et al.[9] utilise le fait que les pièces peuvent souvent être représentées par un ou plusieurs parallélépipède. Leur approche consiste alors à identifier des pics dans les histogrammes de distribution des points selon les axes x, y et z. Ces pics correspondent aux Un parallélépipède est alors placé afin d'occuper l'espace entre ces pics.

Cette utilisation des histogrammes est en partie inspirée par [7] qui s'en servait déjà pour séparer les différents étages d'un bâtiment.

Une fois ces plans créés, Macher et al.[7] tentent de labéliser tous les points appartenant aux murs. Le problème alors rencontré provient de l'occlusion due aux meubles et autres objets parasites présents lors de l'acquisition de données. Les auteurs utilisent une règle heuristique, à savoir que la plupart des éléments parasites n'atteignent pas le plafond, pour pouvoir catégoriser correctement les points.

Macher et ses collègues ne vont pas plus loin que la catégorisation des murs, sols et plafonds, tout comme Tran et al.[9]. Mais d'autres méthodes permettent d'obtenir une labélisation plus fine du bâtiment. Ainsi, Tamke et al.[6] font appel à un algorithme d'apprentissage supervisé pour catégoriser les portes et fenêtres. Similairement, Xiong et Huber[8] utilisent un champ aléatoire conditionnel pour reconnaître ces mêmes éléments.

Adán et al.[2] font usage de la caméra embarquée par leur plateforme robotique autonome pour détecter plus de détails. Ainsi, les ouvertures sont identifiées comme étant des discontinuités rectangulaires dans l'espace RGB-D et cette méthode permet de détecter les portes qu'elles soient ouvertes ou fermées. De plus, les discontinuités trop petites pour être des ouvertures sont analysées par un perceptron qui permet d'identifier un certain nombre de petites installations telles que des prises électriques, des interrupteurs ou encore des extincteurs, offrant au BIM généré en sortie un niveau de détail supérieur aux autres techniques vues jusqu'à maintenant.

Enfin, Pierdicca et al.[10] se concentrent uniquement sur la classification des points du nuage plutôt que sur la génération d'un BIM à proprement parler. Les auteurs entraînent ainsi un réseau de neurones profond à associer chaque point d'un nuage à une caractéristique architecturale (mur, porte, arche...) dans le contexte de la préservation de l'architecture historique.

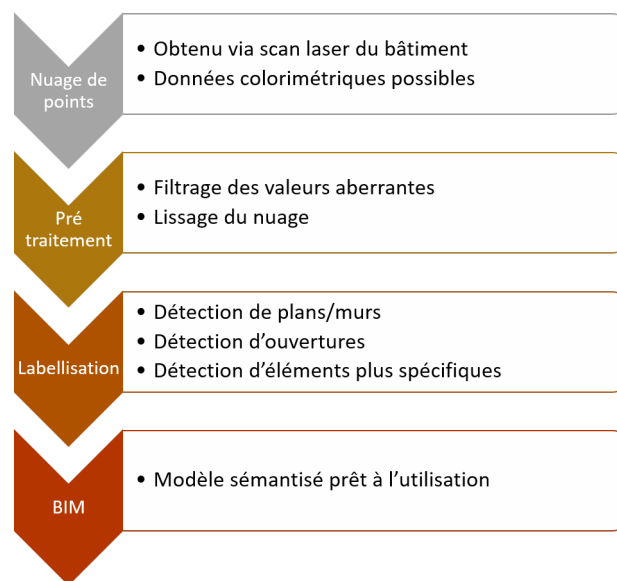


FIGURE 2 – Description générique du passage d'un nuage de point à un BIM

## 4 Reconnaissance d'image

Bien qu'offrant un grand niveau de détail sur les bâtiments, la capture d'un nuage de points est souvent coûteuse[11]. De nos jours, certains smartphones disposent de capteurs de profondeur intégrés, mais la taille des pièces dépasse généralement la profondeur maximale de ces capteurs, ce qui fait qu'ils ne peuvent pas être utilisés facilement[12]. C'est pourquoi on peut envisager de plutôt réaliser une acquisition d'image afin de générer un BIM. Toutefois, la littérature est peu fournie concernant cette approche.

Déjà en 2009, Furukawa et al.[13] proposent de reconstruire un intérieur à partir de plusieurs images. Pour cela ils font certaines hypothèses, à savoir que l'environnement est composé de plans et qu'il est aligné suivant trois directions orthogonales. Cela leur permet d'extraire des images des plans potentiels desquels ils déduisent ensuite une carte de profondeur. Ils alignent ensuite les cartes de profondeur de chaque image suivant les trois axes décrits plus tôt, ce qui leur permet d'obtenir un modèle 3D de l'intérieur. Toutefois, les auteurs ne font

pas de labélisation du modèle obtenu.

Plus récemment, Pintorre et al.[12] suggèrent une technique capable de reconstituer un intérieur en 3D à partir de plusieurs images 360°. En utilisant des zones de couleur uniformes, les auteurs labélisent différentes parties des images en plafond, murs et sol. Les images sont ensuite assemblées entre elles grâce à des points d'intérêt pour ainsi construire un modèle 3D. Cette méthode fournit donc un modèle 3D avec les murs, le sol et le plafond identifiés. Elle est de plus robuste face à l'occlusion.

## 5 Utilisation de modèles 3D existants

Il est rare de disposer d'un modèle 3D d'un bâtiment, mais que celui-ci ne contienne pas d'informations sémantiques. C'est pourquoi il est difficile de trouver dans la littérature des articles s'intéressant à labéliser des modèles 3D existants. Toutefois, Janssen et al.[14] ont tenté d'aborder le problème. L'application qu'ils présentent prend en entrée un modèle 3D très simple du bâtiment. Chaque polygone qui le compose est alors analysé via une série de règles heuristiques pour identifier à quelle catégorie il appartient (une des règles pour identifier un mur est qu'il soit vertical par exemple). Un fichier IFC est finalement généré en sortie en attribuant chaque polygone à une classe IFC.

## 6 Utilisation de plans 2D

Avant que les BIM ne soit popularisés, les plans architecturaux en 2D étaient presque l'unique outil utilisé pour concevoir un bâtiment. De ce fait, ils sont souvent facilement accessibles, ce qui explique que plusieurs auteurs aient cherché à les exploiter pour obtenir des BIM. Un défi de cette méthode vient cependant du fait que les symboles de ces plans ne sont souvent pas normalisés et varient d'architecte en architecte.

Ainsi, en 2000, Dosch et al.[1] proposaient déjà un système complet capable de générer un modèle 3D à partir de plans papiers numérisés. Dans un premier temps, le plan est séparé en plusieurs fragments qui seront chacun vectorisés avant d'être réassemblés. Les auteurs utilisent diverses techniques de traitement d'image pour extraire du plan le texte, les lignes épaisses, les lignes fines, les arcs de cercle ainsi que les lignes en pointillés. Pour reconnaître les escaliers, les auteurs cherchent simplement des zones denses en polygones.

La reconnaissance de symboles plus complexe tels que les portes ou les fenêtres se fait elle via un ensemble de descriptions créées manuellement et lu par un parseur (par exemple, une porte se compose d'un segment et d'un arc de cercle).

L'extraction de ces éléments permet la création d'un modèle 3D via une extrusion à une hauteur donnée par l'utilisateur. Dans le cas de bâtiments à plusieurs étages, les auteurs offrent un algorithme capable d'aligner les étages les uns au-dessus des autres en reconnaissant certaines caractéristiques telles que les coins des murs extérieurs.

En se référant à Gimenez et al.[15], il semblerait que les méthodes développées dans [1] aient été intégrées dans un projet nommé Qgar avec d'autres outils de traitement de documents. Toutefois, le projet a été arrêté en 2008 et le site qui l'hébergeait n'est plus accessible que grâce à la Wayback Machine.[16]

Toutefois, ces outils ont servi de base à d'autres auteurs pour développer des applications similaires. Ainsi, Gimenez et al.[17] proposent un programme capable de créer un fichier IFC à partir de plans d'architecte. Cette application reconnaît les murs, portes et fenêtres et utilise le texte présent sur le plan pour nommer les pièces.

Tout d'abord, le texte est extrait du plan. Les segments et arcs de cercle sont ensuite reconnus via des méthodes standards de traitement d'image. Puis, les murs sont identifiés comme étant deux lignes parallèles séparées par une épaisseur comprise entre des bornes min et max. Les ouvertures sont elles identifiées en se basant sur le fait qu'elles sont représentées par un rectangle compris dans un mur. Enfin, une extrusion verticale des murs est faite et les espaces correspondant aux pièces sont identifiés via un algorithme de region growth. A chaque pièce est associée une chaîne de caractères issue du plan. Il est à noter que l'application ne reconnaît pas d'autres symboles architecturaux et qu'elle peine à identifier les pièces dont la forme n'est pas conventionnelle.

Lu et al.[18] choisissent de décomposer leur application en trois modules. Le premier va dans un premier temps détecter des symboles circulaires sur le plan servant de repère pour pouvoir diviser ce dernier en grille. Un algorithme de reconnaissance de texte est ensuite utilisé pour reconnaître le texte sur le plan, l'extraire et le stocker dans plusieurs fichiers Excel. Les informations contenues dans ce texte sont analysées et réutilisées dans le module 3.

Le deuxième module contient un réseau de neurones flou (fuzzy neural network) utilisé pour reconnaître les différents objets du plan. Ce module produit un fichier txt avec les informations relatives aux différents objets.

Enfin, le troisième module combine les informations des modules 1 et 2 pour avoir un maximum de renseignements sur les différents objets du plan et pouvoir ensuite les transformer en objets IFC et ainsi générer un BIM.

Enfin, Wu et al.[19] utilise une approche à mi-chemin entre l'analyse de plans 2D et le scan-to-BIM. Ainsi, dans un premier temps, leur application prend en entrée un plan obtenu via un logiciel de conception assisté par ordinateur (et non un plan scanné). Cela est nécessaire pour pouvoir retirer facilement les informations qui ne les intéressent pas (texte, dimensions...) et ne conserver que la structure du bâtiment. Le plan est ensuite triangularisé, puis les triangles sont regroupés en polygones via un algorithme de region growth.

En parallèle, un nuage de points coloré de faible qualité du bâtiment est obtenu grâce à un smartphone équipé d'un LIDAR.

Le but des auteurs est ensuite de réussir à aligner le plan 2D avec le nuage de points. Un problème qui se pose alors provient du fait qu'il est facile de tomber dans un minimum global en utilisant par exemple l'écart quadratique moyen. Pour palier à cela, les auteurs se servent de la symétrie du bâtiment pour avoir une indication supplémentaire sur la concordance entre le nuage de points et le plan.

Les structures telles que les murs et les ouvertures sont ensuite extraite du plan 2D et extrudé pour obtenir un modèle 3D. Enfin, le nuage de point est utilisé pour obtenir une texture 2D qui est appliquée au modèle afin d'augmenter le réalisme de ce dernier.

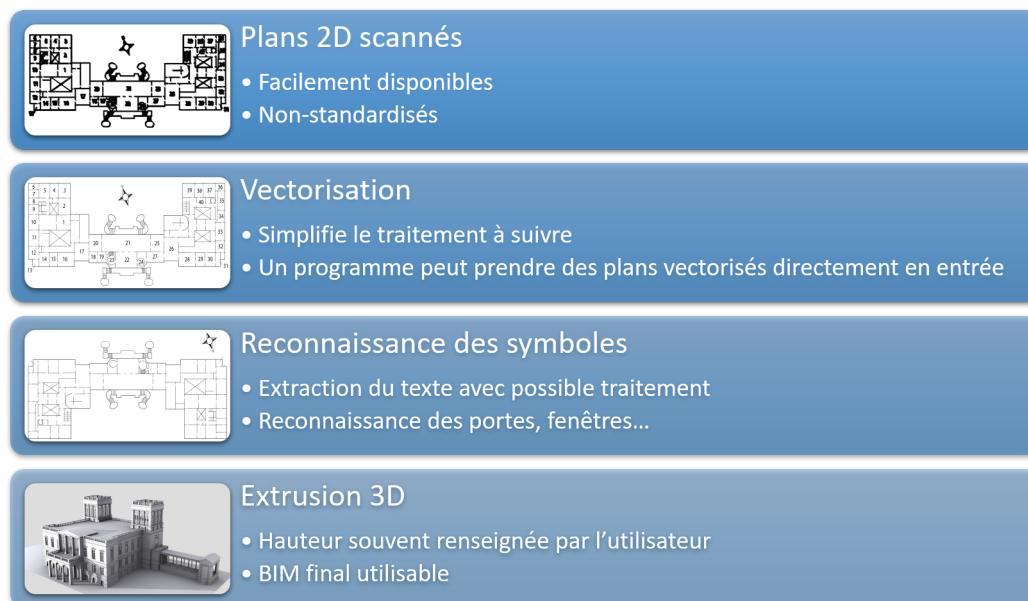


FIGURE 3 – Description générique du passage d'un plan 2D à un BIM

## 7 Conclusion

L'étude de la littérature tend à montrer qu'à l'heure actuelle, la génération automatique ou pseudo-automatique de BIM se concentre principalement sur la conversion du nuages de points en BIM qui offre des résultats prometteurs.

Il existe toutefois d'autres pistes de recherche moins empruntées. Notamment, la conversion de plans 2D en BIM a été abordée par plusieurs auteurs. Cette méthode permet d'éviter d'avoir à scanner entièrement un bâtiment au laser et est donc moins coûteuse, mais il semble que cette voie n'ait pas beaucoup évolué depuis les années 2000.

Enfin, il est à noter que toutes les méthodes proposées ici souffre de certaines limitations, l'une des plus importantes étant la difficulté à modéliser les éléments se trouvant à l'intérieur des murs, tels que le réseau électrique.

## Bibliographie

- [1] Philippe DOSCH, Karl TOMBRE, Christian AH-SOON et Gérald MASINI. « A complete system for the analysis of architectural drawings ». In : *International Journal on Document Analysis and Recognition* 3 (2 déc. 2000). ISSN : 1433-2833. DOI : [10.1007/PL00010901](https://doi.org/10.1007/PL00010901).

- [2] A. ADÁN, B. QUINTANA, S.A. PRIETO et F. BOSCHÉ. « An autonomous robotic platform for automatic extraction of detailed semantic models of buildings ». In : *Automation in Construction* 109 (jan. 2020). ISSN : 09265805. DOI : [10.1016/j.autcon.2019.102963](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102963).
- [3] Viorica PĂTRĂUCEAN, Iro ARMENI, Mohammad NAHANGI, Jamie YEUNG, Ioannis BRILAKIS et Carl HAAS. « State of research in automatic as-built modelling ». In : *Advanced Engineering Informatics* 29 (2 avr. 2015). ISSN : 14740346. DOI : [10.1016/j.aei.2015.01.001](https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.001).
- [4] D. BENARAB, W. DERIGENT, D. BRIE, V. BOMBARDIER et A. THOMAS. « All-Automatic 3D BIM Modeling of Existing Buildings ». In : *Product Lifecycle Management to Support Industry 4.0. PLM 2018. IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Sous la dir. de P. CHIABERT, A. BOURAS, F. NOËL et J. RÍOS. T. 540. Springer, Cham, 2018. DOI : [10.1007/978-3-030-01614-2\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01614-2_6).
- [5] Jaehoon JUNG, Sungchul HONG, Seongsu JEONG, Sangmin KIM, Hyoungsig CHO, Seunghwan HONG et Joon HEO. « Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures ». In : *Automation in Construction* 42 (juin 2014). ISSN : 09265805. DOI : [10.1016/j.autcon.2014.02.021](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.021).
- [6] Martin TAMKE, Henrik Leander EVERS, Raoul WESSEL, Sebastian OCHMANN, Richard VOCK et Reinhard KLEIN. « An Automated Approach to the Generation of Structured Building Information Models from Unstructured 3d Point Cloud Scans ». Dansk. In : *Proceedings of the IASS Annual Symposium 2016 Spatial Structures in the 21st Century*. IASS Annual Symposium 2016 : Spatial Structures in the 21st Century, IASS ; Conference date : 26-09-2016 Through 30-10-2016. 2016. URL : <http://iass2016.jp/>.
- [7] Hélène MACHER, Tania LANDES et Pierre GRUSSENMEYER. « From Point Clouds to Building Information Models : 3D Semi-Automatic Reconstruction of Indoors of Existing Buildings ». In : *Applied Sciences* 7 (10 oct. 2017). ISSN : 2076-3417. DOI : [10.3390/app7101030](https://doi.org/10.3390/app7101030).
- [8] Xuehan XIONG et Daniel HUBER. « Using Context to Create Semantic 3D Models of Indoor Environments ». In : British Machine Vision Association, 2010. ISBN : 1-901725-40-5. DOI : [10.5244/C.24.45](https://doi.org/10.5244/C.24.45).
- [9] H. TRAN, K. KHOSHELHAM, A. KEALY et L. DÍAZ-VILARIÑO. « Shape Grammar Approach to 3D Modeling of Indoor Environments Using Point Clouds ». In : *Journal of Computing in Civil Engineering* 33 (1 jan. 2019). ISSN : 0887-3801. DOI : [10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000800](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000800).
- [10] Roberto PIERDICCA, Marina PAOLANTI, Francesca MATRONE, Massimo MARTINI, Christian MORBIDONI, Eva Savina MALINVERNI, Emanuele FRONTONI et Andrea Maria LINGUA. « Point Cloud Semantic Segmentation Using a Deep Learning Framework for Cultural Heritage ». In : *Remote Sensing* 12 (6 mar. 2020). ISSN : 2072-4292. DOI : [10.3390/rs12061005](https://doi.org/10.3390/rs12061005).
- [11] Qiuchen LU et Sanghoon LEE. « Image-Based Technologies for Constructing As-Is Building Information Models for Existing Buildings ». In : *Journal of Computing in Civil Engineering* 31 (4 juil. 2017). ISSN : 0887-3801. DOI : [10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000652](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000652).
- [12] Giovanni PINTORE, Fabio GANOVELLI, Ruggero PINTUS, Roberto SCOPIGNO et Enrico GOBBETTI. « 3D floor plan recovery from overlapping spherical images ». In : *Computational Visual Media* 4 (4 déc. 2018). ISSN : 2096-0433. DOI : [10.1007/s41095-018-0125-9](https://doi.org/10.1007/s41095-018-0125-9).
- [13] Yasutaka FURUKAWA, Brian CURLESS, Steven M. SEITZ et Richard SZELISKI. « Reconstructing building interiors from images ». In : IEEE, sept. 2009. ISBN : 978-1-4244-4420-5. DOI : [10.1109/ICCV.2009.5459145](https://doi.org/10.1109/ICCV.2009.5459145).
- [14] Patrick JANSSEN, Kian Wee CHEN et Akshata MOHANTY. « Automated Generation of BIM Models ». In : 2016, p. 583-590.
- [15] Lucile GIMENEZ, Jean-Laurent HIPPOLYTE, Sylvain ROBERT, Frédéric SUARD et Khaldoun ZREIK. « Review : reconstruction of 3D building information models from 2D scanned plans ». In : *Journal of Building Engineering* 2 (juin 2015). ISSN : 23527102. DOI : [10.1016/j.jobee.2015.04.002](https://doi.org/10.1016/j.jobee.2015.04.002).
- [16] *Projet Qgar sur la Wayback Machine*. <https://web.archive.org/web/20081119142837/http://www.qgar.org/accueil.php>.
- [17] Lucile GIMENEZ, Sylvain ROBERT, Frédéric SUARD et Khaldoun ZREIK. « Automatic reconstruction of 3D building models from scanned 2D floor plans ». In : *Automation in Construction* 63 (mar. 2016). ISSN : 09265805. DOI : [10.1016/j.autcon.2015.12.008](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.12.008).
- [18] Qiuchen LU, Long CHEN, Shuai LI et Michael PITT. « Semi-automatic geometric digital twinning for existing buildings based on images and CAD drawings ». In : *Automation in Construction* 115 (juil. 2020). ISSN : 09265805. DOI : [10.1016/j.autcon.2020.103183](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103183).
- [19] Yijie WU, Jianga SHANG et Fan XUE. « RegARD : Symmetry-Based Coarse Registration of Smartphone's Colorful Point Clouds with CAD Drawings for Low-Cost Digital Twin Buildings ». In : *Remote Sensing* 13 (10 mai 2021). ISSN : 2072-4292. DOI : [10.3390/rs13101882](https://doi.org/10.3390/rs13101882).