

Reconstruction Topologique de Bâtiments 3D Complexes et Extraction de Différents Niveaux de Détails

A. A. Diakité¹ and G. Damiani¹ and D. Van Maercke²

¹ Université de Lyon, CNRS, LIRIS, UMR5205, F-69622 France

² CSTB Grenoble, France

Résumé

Cet article décrit une nouvelle méthode permettant de récupérer la topologie intérieure et extérieure d'un modèle détaillé de bâtiment 3D à partir de sa géométrie et d'extraire différents niveaux de détail (LoD) à partir de la description topologique résultante. Aucune information préalable sur le modèle initial, à l'exception de sa géométrie n'est nécessaire en entrée, et en utilisant la structure de données des cartes combinatoires, le procédé restaure les informations topologiques des parties identifiées du bâtiment. Les cartes combinatoires ont l'avantage de traiter plus facilement avec la topologie, qui est nécessaire pour la plupart des applications utilisant des modèles 3D de bâtiments après que les architectes les aient conçus. Alors que les modèles classiques disponibles sont principalement fournis dans un format Boundary Représentation (B-Rep), nous discutons de la façon de retrouver les composantes qui permettent de distinguer les différentes parties du bâtiment (défini comme des volumes), puis les relations spatiales qui les lient.

Abstract

This paper describes a new method allowing to retrieve the indoor and outdoor topology of a detailed 3D building model from its geometry and to extract different levels of detail (LoD) from the resulting topological description. No prior information about the initial model, except its geometric information is needed as input, and using the combinatorial maps data structure, the method recovers the topological information of the identified parts of the building. The combinatorial maps have the advantage of dealing easier with the topology, that is needed for most of applications using 3D building models after the architects design it. While classical models available are mainly furnished in a Boundary Representation (B-Rep) format, we discuss how to recover the components that allow to distinguish the several parts of the building (defined as volumes) then the spatial relationships linking them.

Mots-clés : Modélisation géométrique, Reconstruction topologique, Cartes Combinatoires, SIG

1. Introduction

La modélisation 3D des bâtiments est un domaine de recherche largement étudié dans la communauté informatique. Là où les architectes créent des modèles principalement pour de la visualisation à haut niveau de détails, d'autres domaines d'expertises auront besoin d'un modèle du même bâtiment pour des procédés d'ingénierie (calcul, simulation, ...) ou de visualisation moins détaillée (cartes urbaines 3D). Mais, à cause des différences non négligeables entre ces différentes disciplines, la modélisation de bâtiments est victime

d'un manque flagrant d'interopérabilité, dans la mesure où chaque domaine a des besoins spécifiques, pas toujours fournis par le modèle initial.

Beaucoup d'efforts ont été fait dans ce sens et des résultats prometteurs viennent de l'*Industry Foundation Classes* (IFC) et du City Geography Markup Language (CityGML) qui se présentent comme des normes offrant une description complète d'un modèle de bâtiment et de son environnement. Ces formats sont encore en développement et les fichiers de CAO classiques restent les plus utilisés.

Notre principale contribution consiste à proposer une nouvelle approche permettant de récupérer l'ensemble des informations topologiques de l'espace intérieur et extérieur d'un

modèle de bâtiment 3D, rien qu'à partir de son information géométrique. Nous utilisons les cartes combinatoires, structure de données qui offre un formalisme simple et efficace pour décrire une géométrie complexe par le biais de sa structure topologique, fournissant une description cellulaire 3D avec les relations d'incidence et d'adjacence entre les cellules. À la fin de la reconstruction topologique, nous nous retrouvons avec une description topologique composée d'un ensemble de volumes cohérents, dans le sens où ils représentent des éléments réels du bâtiment (mur, plancher, toiture, etc). Les relations topologiques permettent de récupérer différentes informations du type *quelle paroi est en contact avec une autre*. Grâce à ses avantages de traitement par rapport au modèle initial, notre modèle reconstruit se présente comme une base générique pour de nombreuses applications. Ici, nous l'illustrons avec l'extraction automatique de différents niveaux de détails du modèle initial du bâtiment, procédé plus connu sous le nom de simplification (ou généralisation) de bâtiment dans le domaine de la cartographie urbaine 3D.

Après une discussion sur les travaux antérieurs liés à la topologie des modèles 3D de bâtiment, nous décrivons brièvement la théorie derrière les cartes combinatoires. La méthodologie de l'approche permettant de récupérer la topologie à partir de la géométrie sera détaillée dans la deuxième partie, avant d'explorer l'application à la simplification de bâtiment dans une troisième section. Nous concluons enfin en présentant un bilan des travaux et en proposant des améliorations futures.

1.1. Travaux précédents

Deux grands domaines de recherche se démarquent dans les investigations relatives à la modélisation du bâtiment : les systèmes d'information géographique (SIG) et les modèles d'information du bâtiment (BIM). Beaucoup de travaux ont été réalisés et chacun d'eux vise à traiter des demandes spécifiques. Indépendamment de l'approche utilisée, il n'y a pas de modèles purement topologiques, sémantiques ou géométriques, mais des modèles hybrides utilisant différents niveaux d'abstraction. Un bon aperçu du sujet (en ce qui concerne l'espace intérieure du bâtiment) est proposé dans [DGF12]. Nous allons discuter ici les contributions qui sont plus étroitement liées à notre travail et traitant de la topologie.

Puisque l'acquisition de données 3D des informations géographiques est encore intensivement étudié (par exemple, la reconstruction 3D à l'aide de capteur LiDAR), alors que des plans 2D sont couramment disponibles (à partir de satellites, croquis 2D d'architectes, cadastre, etc), il existe de nombreuses méthodes utilisant de tels plans 2D comme fichier d'entrée pour proposer une reconstruction 3D par extrusion [BZ03, HDMB07, HMDB09, CL09]. Tous ces travaux précédemment cités offrent des structures de données

topologiques 3D pour représenter les relations spatiales entre les objets.

Comme pour les problèmes en 2D, une bonne segmentation du modèle 3D du bâtiment en plusieurs parties sémantiquement significatives est nécessaire afin de bien étudier les relations spatiales entre les composantes. La plupart des méthodes profitent soit des avantages de l'information sémantique lorsque celle-ci est disponible (comme dans les fichiers CityGML ou IFC) [TRRF01, TR07], soit utilisent des méthodes d'apprentissage basées sur des graphes de reconnaissances ou de l'analyse d'un dictionnaire prédéfini [BHMT13], pour identifier les composantes. D'un autre côté, Thiemman et Sester [TS04] dérivent la méthode décrite dans [RHG*01] pour trouver des caractéristiques sur le modèle 3D avant sa simplification, sur la base de critères d'importance qu'ils définissent préalablement.

Un autre problème bien étudié est la requête topologique sur des modèles 3D. Borrmann et Rank [BR08] ont proposé des définitions formelles d'opérateurs topologiques au moyen d'une représentation des objets à base d'Octree [MBR*03]. Les relations spatiales sont décrites en utilisant le modèle des 9-intersection [EF91]. Le but était de rendre possibles des prédictions topologiques dans un langage appelé *3D Spatial Query Language* pour BIM [BTR06]. Ellul et Haklay [EH09] ont proposé une structure binaire de B-Rep et sa version modifiée pour améliorer les performances des requêtes de relation binaire dans les SIG 3D.

Les structures de données combinatoires ont prouvé leur efficacité pour décrire les informations topologiques et les relations spatiales dans les modèles de bâtiment [CL09, Wor11]. Similairement à notre approche, Horna et al [HDMB07, HMDB09] ont introduit une méthode pour reconstituer la géométrie et la topologie des bâtiments en 3D à partir de plans architecturaux 2D sur la base de la structure de données des cartes généralisées. Alors que les architectes ont tendance à produire des modèles 3D de plus en plus détaillés géométriquement, aucune méthode dans la littérature ne permet de retrouver la décomposition spatiale d'un bâtiment 3D et sa topologie complète sans information a priori, en plus de sa géométrie. Notre objectif est de proposer un processus complet pour totalement retrouver la topologie (intérieure et extérieure) d'un modèle de bâtiment 3D à partir de son information géométrique *uniquement* et de la stocker dans une structure de données appropriée.

1.2. Cartes combinatoires et Complexes Cellulaires Linéaires

Un modèle de bâtiment 3D peut être vu comme un ensemble de volumes correspondant à des parties spécifiques (murs, toits, planchers, etc), liés entre eux pour former des chambres et autres pièces. Nous allons décrire ces différentes parties et leur interconnexion à l'aide de *cartes combinatoires 3D* [Lie94, Dam13a]. Une carte combinatoire est

une structure de données basée sur des arêtes et composée d'un ensemble de brins (*dart*) ainsi que les relations entre ces brins. Un brin peut être considéré comme une partie d'une arête orientée, et de plus une partie du sommet, de la face et du volume incidents. En reliant ces brins par β_1 , les faces qui sont des cycles de brins sont obtenues. Ensuite, en liant entre elles ces faces par β_2 , les volumes, qui sont un ensemble de brins interconnectés entre eux uniquement par des liens β_1 et β_2 , sont obtenus. L'opération permettant de créer les liaisons β_i est appelée *i-sew*. Enfin, les volumes sont reliés entre eux par β_3 .

Grâce aux brins et les relations β , les cartes combinatoires 3D représentent l'information topologique complète du bâtiment. En effet, elles décrivent les subdivisions du bâtiment à l'aide de cellules : volumes (3-cellules), faces (2-cellules), arêtes (1-cellules) et sommets (0-cellules) ; ainsi que toutes les relations d'incidence et d'adjacence entre ces cellules (voir un exemple de carte combinatoire 3D dans la figure 2). Afin de décrire aussi la forme des bâtiments, les cartes combinatoires 3D sont enrichies des points 3D associés aux 0-cellules. Cela correspond à intégrer une carte combinatoire dans un espace géométrique linéaire qui est appelé *complexe cellulaire linéaire 3D* [Dam13b] (LCC).

L'intérêt principal du complexe cellulaire linéaire 3D est de décrire l'ensemble des informations topologiques et géométriques de bâtiments en 3D avec une structure de données permettant plusieurs opérations de construction et de modification, tout en garantissant la validité des objets grâce à une base mathématique solide [Lie94]. En outre, toutes les informations d'adjacence et d'incidence entre les cellules sont stockées dans la structure de données et disponible par de simples requêtes. Un autre intérêt est la disponibilité d'une bibliothèque C++ libre nommée *Computational Geometry algorithm Library* (CGAL) [CGA13] qui offre tous les outils nécessaires pour travailler avec les cartes combinatoires et produire la dite LCC.

2. Reconstruction Topologique

Afin de décrire entièrement la structure topologique d'un modèle de bâtiment, les cellules du bâtiment et leurs relations doivent être retrouvées en prenant en entrée la description géométrique. Cette reconstruction topologique se fait dans l'ordre croissant de dimension, en trois étapes principales (cf. figure 1) :

- Création des faces isolées depuis la géométrie des polygones ;
- Liaison par β_2 des faces pour créer les volumes ;
- Liaison par β_3 des volumes pour les rassembler.

La première étape est simple, puisque les points 3D et la séquence de sommets de chaque face sont directement fournis par le fichier d'entrée. Ils permettent de créer directement les faces isolées correspondantes dans le complexe cellulaire linéaire (cf. figure 1(b)).

2.1. Reconstitution des liens entre les faces

La deuxième étape de notre reconstruction topologique consiste à relier par β_2 les faces afin de créer les différents volumes du LCC, chaque volume correspondant à une composante significative du modèle du bâtiment (cf. figure 1(c)). Contrairement à l'étape précédente (reconstruction de faces isolées), l'information indiquant quelles faces doivent être liées par β_2 n'est pas directement fournie dans les données géométriques mais doit être retrouvée.

Pour atteindre cet objectif, nous utilisons les trois propriétés suivantes : (1) deux faces peuvent être reliées par β_2 seulement si elles ont la même arête le long de leur frontière ; (2) lorsque plus de deux faces partagent la même arête, une face est liée par β_2 avec la face la plus rapprochée autour de l'arête ; (3) deux brins peuvent être reliés par β_2 seulement si elles ont des orientations opposées. Les deux premières propriétés sont des conséquences directes du fait que les volumes du bâtiment forment une partition de l'espace 3D, et la troisième est une propriété fondamentale des cartes combinatoires.

Grace à ces trois propriétés, nous pouvons reconstruire tous les liens β_2 entre toutes les faces isolées par une méthode basée sur un tri angulaire consistant en trois étapes :

- Rassemblement des faces ayant une arête commune en choisissant une d'elle comme référence ;
- Calcul et tri des angles entre la face de référence et celles autour de l'arête commune ;
- 2-sew chaque paire de brins ayant des orientations différentes, dans l'ordre angulaire.

Figure 2 illustre ce principe. Dans cet exemple, l'application du tri angulaire en utilisant F_1 comme référence donne F_2 et F_3 comme les faces les plus proches de F_1 (90°), et le seul à avoir un brin de direction opposée au brin 1 c'est F_2 . Ainsi les brins 1 et 2 sont liés par β_2 . Notez que notre méthode est une extension directe en 3D de l'approche similaire proposée en 2D dans [HDMB07], dans lequel des arêtes sont triées pour restaurer les liens entre eux.

2.2. Reconstitution des liens entre les volumes

La troisième étape de notre reconstruction topologique consiste à relier par β_3 les différents volumes non connectés (cf. figure 1(d)). Pour cette reconstruction, il faut détecter toutes les surfaces de contact entre tous les volumes. Ceci est réalisé en recherchant toutes les paires de faces dans le LCC qui sont coplanaires et qui présentent une intersection non nulle. Chaque paire de faces caractérise une adjacence entre les deux volumes incidents. Pour chaque paire de faces, il existe deux possibilités : soit les deux faces ont la même topologie et la même géométrie, soit elles ont des formes différentes. Dans le premier cas, chaque paire de darts des deux faces peut être directement mise en relation deux à deux par β_3 (ce qui est par exemple le cas dans la figure 2 pour les volumes A et B par les deux faces F_2 et F_3).

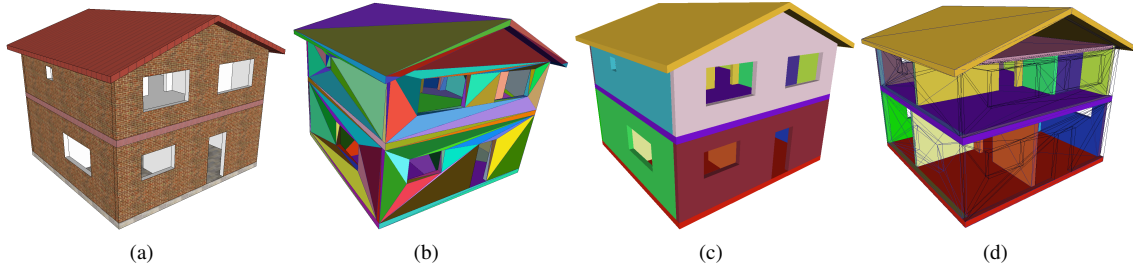


Figure 1: Reconstruction topologique d'un modèle de bâtiment. (a) Modèle original texturé. (b) soupe de faces isolées. (c) Résultat après le tri angulaire. (d) Résultat final après la liaison des volumes.

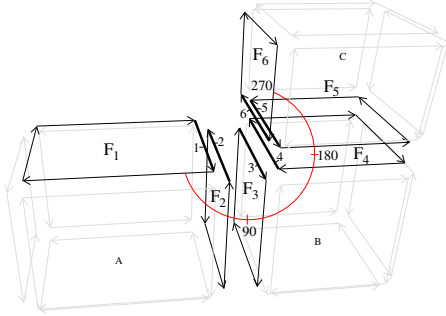


Figure 2: Représentation de trois volumes A, B et C par les cartes combinatoires. Les six faces en traits foncés partagent une même arête (décrit par les 6 brins dessinés en flèches foncées et numérotés de 1 à 6). La figure illustre la méthode du tri angulaire utilisant le brin 1 comme référence. La face F_1 est liée par β_2 à la face F_2 , la face F_3 à F_4 , et la face F_5 à F_6 .

Dans le second cas, lorsque les deux faces ont des formes différentes, nous avons besoin de créer la surface de contact entre les deux volumes incidents en découpant les deux faces coplanaires afin d'obtenir une partie commune présentant les deux mêmes topologies et la même géométrie. Le procédé, illustré sur la figure 3, est décrit par les étapes suivantes :

- Calculer les points *internes* et les intersections entre la paire de faces et insérer les sommets correspondants dans le LCC ;
- Sur la base des nouveaux sommets ajoutés et des faces coplanaires existantes, construire les nouvelles faces en insérant des arêtes entre les différents sommets.

Dans la première étape, on recherche les intersections entre les arêtes aux frontières des faces coplanaires. Certains sommets seront absents après la simple requête d'intersection, parce qu'ils ne résultent pas d'une intersection des arêtes, mais ils se trouvent à l'intérieur des surfaces de faces opposées (cf. figure 3). Ainsi, les points que nous appelons points *internes* sont également recherchés et insérés.

Dans la seconde étape, les nouvelles faces représentant la surface de contact entre les paires de volumes sont construits par l'insertion des arêtes entre les sommets appropriés. Les arêtes sont construits sur la base des arêtes des faces qu'elles dépeignent. Toutes ces étapes sont traitées au moyen d'algorithmes géométriques classiques comme le calcul de vecteur normal de polygone [SSS74], de projections dans l'espace et le calcul d'intersections, combinés avec les opérations définies pour les cartes combinatoires.

2.3. Contraintes sur les modèles d'entrée et Problèmes d'arrondis

Quelques contraintes sur le modèle d'entrée sont nécessaires pour obtenir de bons résultats. Les modèles 3D sont supposés être assez bien fournis en informations géométriques. Nous avons besoin d'un architecte qu'il représente entièrement chaque composante avec l'ensemble de sa géométrie et qu'il le préserve des changements auxquels elle s'expose en interférant avec les autres composantes. Ce n'est pas une tâche difficile car les outils de modélisation récents offrent la possibilité de gérer comme une composante séparée chaque unique ou ensemble de géométries modélisées. De cette manière, nous serons aussi en mesure de supprimer les composantes inutiles qui rendent le modèle inutilisable pour des domaines comme la simulation numérique par exemple. Il est à noter que si le modèle géométrique ne satisfait pas à ces contraintes, des outils de correction automatique peuvent être envisagés. C'est d'ailleurs l'une de nos perspectives.

En revanche, il est bien connu que, dans la géométrie 3D, la notion de contact entre deux entités est exposée à l'imprécision. Les outils de modélisation sont également confrontés à ce genre de problèmes. Donc, nous devons permettre une marge d'erreur pour ce qui est considéré comme un contact. Notre algorithme est pleinement défini en utilisant le modèle *Epsilon Geometry* [SSG89] afin d'éviter autant que possible les éventuelles incohérences et de le rendre robuste. Pour la collecte des faces coplanaires, en supposant que les outils de modélisation peuvent au moins éviter la collision entre deux composantes censées avoir un simple contact, nous considérons

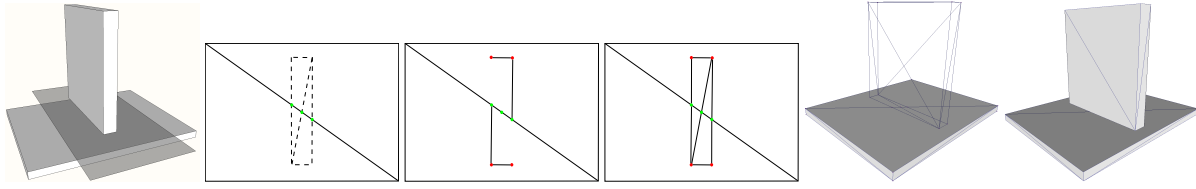


Figure 3: Les étapes de reconstruction des β_3 entre faces non similaires. À partir de la gauche, la première image montre deux blocs (un plancher horizontal et une paroi verticale) qui sont en contact sur un plan commun (séparés pour des questions d'aisance visuelle), les trois images suivantes illustrent une vue de dessus de la surface de contact projetée sur le sol (les points d'intersection entre les deux volumes sont représentés en vert et les points internes en rouge). Les deux dernières images montrent les deux volumes liés par β_3 après une opération 3 – sew.

rons que deux faces éloignées de ϵ_1 et ayant une faible différence dans leur vecteur normal peuvent être considérées comme coplanaires. Le ϵ utilisé est très dépendante du modèle et de son échelle. Pour le calcul de l'intersection, les problèmes d'arrondis peuvent se produire lors de la recherche des contacts entre points et arêtes. Pour surmonter cela, la plus petite distance entre un point et une arête est comparée à une marge d'erreur ϵ_2 pour examiner s'il existe ou non un contact. Ensuite, dans le cas où cette distance est différente de zéro, le point le plus proche du point d'intersection trouvé, gisant sur le segment, est utilisé pour construire le nouveau point sur l'arête.

3. Extraction automatique de niveaux de détails

Avec la flambée des techniques permettant l'acquisition très détaillée de données 3D et la popularité croissante de la modélisation des villes virtuelles de ces dernières années, le concept de simplification de bâtiment 3D est intensivement étudié [FMJ09, Thi02, MF07, Ses07, Kad07]. Il consiste à simplifier les bâtiments 3D complexes pour se retrouver avec des modèles multi-échelle plus légers avec moins de détails et donc plus faciles à manipuler. Il s'agit d'un processus crucial pour la visualisation en temps réel et la navigation. De nombreux bâtiments récents ont déjà des modèles 3D disponibles produits par des architectes utilisant des outils de CAO. Notre objectif ici est d'exploiter ces modèles richement détaillés et complexes, d'en extraire automatiquement leurs versions simplifiées, tout en préservant autant que possible leurs formes visuelles. Notre méthode de simplification se base sur les quatre niveaux de détails (LoDs) définis par la norme OGC CityGML [Con14] pour les bâtiments 3D. Les travaux existants sur la simplification se focalisent principalement sur la dérivation du LoD2 au LoD1 à partir de modèles LoD3. Considérant le modèle initial de LoD4, nous présentons notre extraction automatique des LoD3 à 1.

3.1. Extraction du LoD3

De nos jours, la plupart des bâtiments de ville sont reconstruits en LoD3 [FM12]. D'un autre côté, comme il en a

été question dans [FMJ09], l'enveloppe extérieure d'un bâtiment en 3D peut être considérée comme une bonne simplification en LoD3, car elle correspond à la façade qui est la seule partie visible depuis l'extérieur. En supposant que nous avons affaire à un modèle de bâtiment fermé (avec des fenêtres et des portes à chaque ouverture), nous pouvons extraire les volumes intérieurs des chambres et l'enveloppe externe du modèle à partir du LCC résultant de notre méthode de reconstruction topologique. En effet, en dupliquant toutes les faces du LCC qui ne sont pas 3 – sewn (c'est à dire n'ayant pas de brin lié par β_3), et en les reliant par β_2 , les volumes intérieurs et extérieur sont à la fois générés automatiquement.

Figure 5 illustre le processus en 2D et la figure 4 montre les résultats sur un modèle disponible dans le dépôt de modèles 3D Trimble [Tri13]. Le LCC permet de conserver ou de supprimer des volumes intéressants. Il est par exemple possible de supprimer tous les volumes et les composantes à l'intérieur pour ne garder que l'enveloppe externe. La réduction de la taille du modèle est significative : 89,5% pour le modèle de la première ligne et 77,3% pour la deuxième rangée. Il n'y a pas de différences visuelles entre le modèle initial et son enveloppe. Ce dernier peut d'ailleurs encore être simplifié pour se retrouver avec un modèle encore plus léger. Grâce à ce processus, on peut obtenir un modèle approprié à insérer dans une carte urbaine 3D à partir d'un modèle initial détaillée du bâtiment.

3.2. Extraction des LoD2 et LoD1

Les LoD2 et LoD1 sont toujours les niveaux les plus utilisés pour la visualisation et la navigation. Le LoD1 représente le bâtiment à sa forme la plus simplifiée. Il peut être considéré comme une extrusion de l'empreinte ou une boîte englobante du modèle en fonction de la complexité de sa forme. Le LoD2 est juste un LoD1 caractérisé par une différenciation du toit. Ainsi, pour extraire ces deux niveaux de détails, nous avons principalement travaillé sur le toit de l'immeuble, de façon similaire à l'approche utilisée dans [FM12]. Malgré le manque d'informations sémantiques, le toit peut être automatiquement détecté parmi les volumes. La

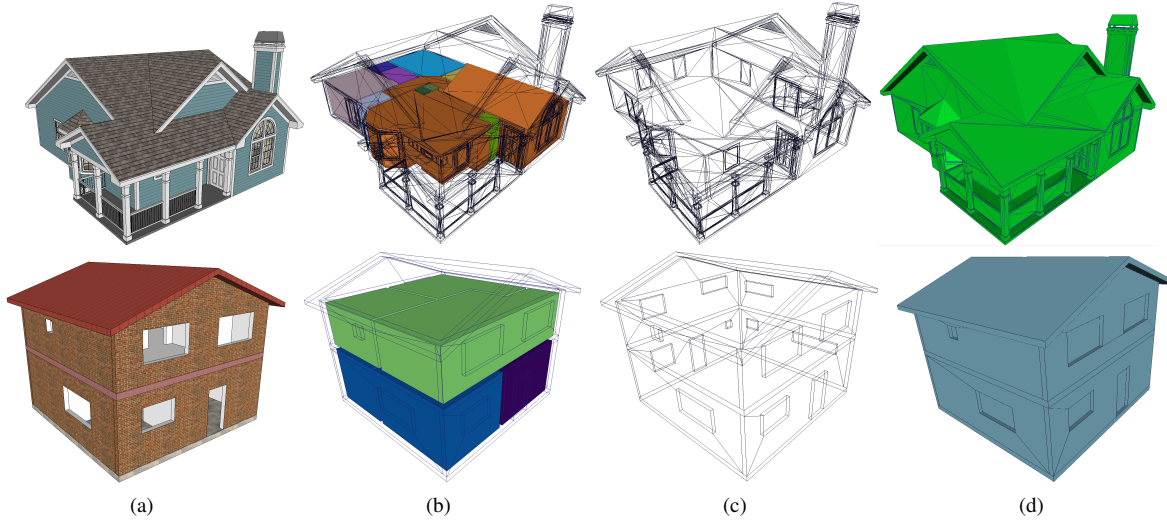


Figure 4: Extraction de volumes internes et de l'enveloppe externe. Modèle de la première ligne : 23828 polygones, seconde ligne : 560 polygones. (a) Modèle original texturé. (b) Les volumes internes. (c) L'enveloppe externe (vue filaire). (d) L'enveloppe externe obtenue, présentant le même aspect visuel en plus léger (2510 polygones pour la première ligne et 127 pour la seconde).

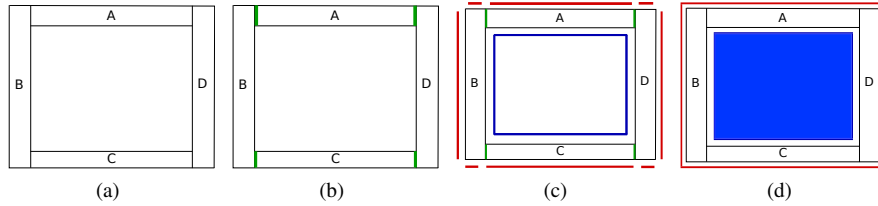


Figure 5: Procédé de duplication des faces en 2D. (a) Quatre faces A, B, C et D. (b) Les arêtes vertes symbolisent les arêtes communes entre deux faces (2 – sewn). (c) Les arêtes non partagées (non 2 – sewn) sont dupliquées à l'intérieur (arêtes bleus) et à l'extérieur (arêtes rouges). (d) Les arêtes rouges et bleus sont 1 – sewn pour former la face bleue (qui correspond au volume interne en 3D) et l'enveloppe externe(en rouge).

plus grande 3-cellule contenant les sommets les plus élevés, en plus de la pente de sa normale par rapport à la direction verticale (dans le cas des toits inclinés) est considéré comme le toit. De ce volume une extrusion jusqu'au plan du sol est effectuée pour obtenir le LoD2, et le LoD1 est finalement obtenu en aplatissant le toit (cf. figure 6).

4. Conclusion et Perspectives

Nous avons présenté une nouvelle méthode pour récupérer l'ensemble de la topologie d'un modèle de bâtiment 3D complexe à partir de sa géométrie sans autre type d'information. Gr ce à la structure de données des cartes combinatoires et de leur formalisme, nous reconstruisons une décomposition cellulaire du modèle, et restaurons étape par étape les liens entre les arêtes, les faces et des volumes. La subdivision de l'espace est fait de telle sorte que les volumes qui en résultent représentent des parties cohérentes du mo-

d le de construction, en dépit de l'absence d'information sémantique. Le modèle de sortie riche d'informations géométriques et topologiques peut ensuite être utilisé par de nombreuses applications. Nous avons montré comment extraire à partir de modèles complexes des LoDs inférieurs pour les applications en SIG.

Comme travaux futurs, nous envisageons d'exploiter d'avantage la puissance du LCC en appliquant des processus de simulation spécifiques (acoustique par exemple), en extrayant les volumes intérieurs et leurs relations d'adjacences à partir de notre représentation. Une autre application intéressante, étant de plus en plus étudiée dern irement, est la sémantisation automatique des éléments du bâtiment à partir d'un modèle purement géométrique. Il sera également intéressant de travailler avec les IFC ou CityGML, pour contribuer au manque d'informations topologiques et de profiter de la sémantique déjà fournis pour une meilleure d compo-

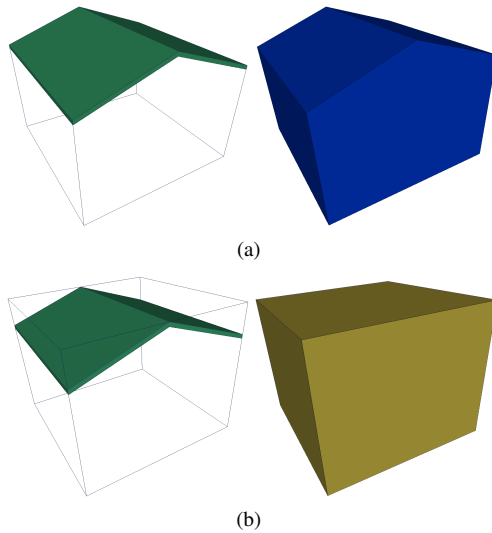


Figure 6: Extraction des LoD2 et LoD1 basée sur la toiture. (a) LoD2 obtenu par extrusion du toit. (b) LoD1 qui correspond dans ce cas à la boîte englobante du LoD2.

sition cellulaire du bâtiment. En effet, seul un modèle de bâtiment 3D avec des informations géométriques, sémantiques et topologiques disponible peut être d'une aide pertinente face aux problèmes d'interopérabilité. Ainsi, en fournissant des outils capables de récupérer ou de créer de telles informations quand elles sont absentes, nous pouvons considérablement améliorer l'efficacité des applications autour de la modélisation du bâtiment.

Références

- [BHMT13] BOULCH A., HOULLIER S., MARLET R., TOURNAIRE O. : Semantizing complex 3d scenes using constrained attribute grammars. *Comp. Graph. Forum*. Vol. 32, Num. 5 (2013), 33–42.
- [BR08] BORRMANN A., RANK E. : Topological operators in a 3d spatial query language for building information models. In *Proc. of the 12th Int. Conf. on Computing in Civil and Building Engineering* (2008).
- [BTR06] BORRMANN A., TREECK C. V., RANK E. : Towards a 3d spatial query language for building information models. In *Proc. Joint Int. Conf. of Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering (ICCCBE-XI)* (2006).
- [BZ03] BILLEN R., ZLATANOVA S. : 3d spatial relationships model : a useful concept for 3d cadastre? *Computers, Environment and Urban Systems*. Vol. 27, Num. 4 (2003), 411 – 425.
- [CGA13] CGAL PROJECT : *CGAL User and Reference Manual*, 4.3 ed. CGAL Editorial Board, 2013.
- [CL09] CHOI J., LEE J. : 3d geo-network for agent-based building evacuation simulation. In *3D Geo-Information Sciences*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 283–299.
- [Con14] CONSORTIUM O. G. : Ogc city geography markup language (citygml) encoding standard, jan 2014.
- [Dam13a] DAMIAND G. : Combinatorial maps. In *CGAL User and Reference Manual*, 4.3 ed. CGAL Editorial Board, 2013.
- [Dam13b] DAMIAND G. : Linear cell complex. In *CGAL User and Reference Manual*, 4.3 ed. CGAL Editorial Board, 2013.
- [DGF12] DOMÍNGUEZ B., GARCÍA Á. L., FEITO F. R. : Semantic and topological representation of building interiors - an overview. In *GRAPP/IVAPP* (2012), pp. 169–174.
- [EF91] EGENHOFER M. J., FRANZOSA R. : Point-set topological spatial relations. *International Journal of Geographic Information Systems*. Vol. 5, Num. 2 (1991), 161–174.
- [EH09] ELLUL C., HAKLAY M. : Using a b-rep structure to query 9-intersection topological relationships in 3d gis – reviewing the approach and improving performance. In *3D Geo-Information Sciences*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 127–151.
- [FM12] FAN H., MENG L. : A three-step approach of simplifying 3d buildings modeled by citygml. *Int. Journal of Geographical Information Science*. Vol. 26, Num. 6 (2012), 1091–1107.
- [FMJ09] FAN H., MENG L., JAHNKE M. : Generalization of 3d buildings modelled by citygml. In *Advances in GIScience*, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 387–405.
- [HDMB07] HORNA S., DAMIAND G., MENEVEAUX D., BERTRAND Y. : Building 3d indoor scenes topology from 2d architectural plans. *Conference on Computer Graphics Theory and Applications (GRAPP)* (march 2007), 37–44.
- [HMDB09] HORNA S., MENEVEAUX D., DAMIAND G., BERTRAND Y. : Consistency constraints and 3d building reconstruction. *Computer-Aided Design*. Vol. 41, Num. 1 (2009), 13 – 27.
- [Kad07] KADA M. : Generalisation of 3d building models by cell decomposition and primitive instancing. In *Proc. of the Joint ISPRS Workshop on Visualization and Exploration of Geospatial Data* (Stuttgart, Germany, 2007).
- [Lie94] LIENHARDT P. : N-dimensional generalized combinatorial maps and cellular quasi-manifolds. *Int. J. Comput. Geometry Appl.*. Vol. 4, Num. 3 (1994), 275–324.
- [MBR*03] MUNDANI R., BUNGARTZ H., RANK E., ROMBERG R., NIGGL A. : Efficient algorithms for

- octree-based geometric modelling. In *Proc. of the 9th Int. Conf. on Civil and Structural Engineering Computing* (2003).
- [MF07] MENG L., FORBERG A. : 3d building generalisation. In *Generalisation of Geographic Information : Cartographic Modelling and Applications* (2007), Elsevier, pp. 211–232.
- [RHG*01] RIBELLES J., HECKBERT P. S., GARLAND M., STAHOVICH T., SRIVASTAVA V. : Finding and removing features from polyhedra. In *Proc. of DETC* (2001), vol. 1, pp. 1–10.
- [Ses07] SESTER M. : 3d visualization and generalization. In *Photogrammetric Week* (2007), vol. 7, pp. 03–09.
- [SSG89] SALESIN D., STOLFI J., GUIBAS L. : Epsilon geometry : Building robust algorithms from imprecise computations. In *Proc. of the Fifth Annual Symposium on Computational Geometry* (1989), SCG '89, ACM, pp. 208–217.
- [SSS74] SUTHERLAND I. E., SPROULL R. F., SCHUMAKER R. A. : A characterization of ten hidden-surface algorithms. *ACM Comput. Surv.* Vol. 6, Num. 1 (1974), 1–55.
- [Thi02] THIEMANN F. : Generalization of 3d building data. In *Part 4, GeoSpatial Theory, Processing and Applications* (2002), pp. 286–290.
- [TR07] TREECK C., RANK E. : Dimensional reduction of 3d building models using graph theory and its application in building energy simulation. *Engineering with Computers*. Vol. 23, Num. 2 (2007), 109–122.
- [Tri13] TRIMBLE : Trimble 3d warehouse, nov 2013.
- [TRRF01] TREECK C. V., ROMBERG R., RANK E., F R L. : Simulation based on the product model standard ifc. In *In Proc. Building Simulation 2003, 8th IBPSA Conference* (2001).
- [TS04] THIEMANN F., SESTER M. : Segmentation of buildings for 3d-generalisation. In *Proc. of the ICA Workshop on generalisation and multiple representation* (2004).
- [Wor11] WORBOYS M. : Modeling indoor space. In *Proc. of the 3rd ACM SIGSPATIAL International Workshop on Indoor Spatial Awareness* (2011), ISA '11, ACM, pp. 1–6.