

Qualification sémantique de modèles 3D de bâtiments

Oussama Ennafi¹

Arnaud Le Bris¹

Florent Lafarge²

Clément Mallet¹

¹ Univ. Paris-Est, LaSTIG MATIS, IGN, ENSG, 94160 Saint-Mandé, France

² Inria, Titane, 06902 Sophia Antipolis, France

oussama.ennafi@ign.fr

1 Introduction

Les modèles 3D urbains ont un large champ d'applications [1]. En conséquence, la reconstruction automatique de scènes urbaines est un objet d'intérêt de la communauté scientifique autant que les industriels [6]. Cependant, aucun algorithme existant n'est viable du point de vue opérationnel (généricité, compacité et temps de calcul). En effet, nombreuses erreurs nécessitent des contrôles et reprises manuels.

Ce travail s'intéresse à l'évaluation sémantique de modèles polyédriques urbains à un niveau de détails (*LoD*) prédéfini [4]. Il s'agit de *modèles 3D* résultant d'une méthode de reconstruction urbaine, bâtiment par bâtiment. Un modèle reconstruit au niveau *LoD1* est une simple extrusion de bâtiment. Une modélisation de niveau *LoD2* correspond à une simplification géométrique du bâtiment. Ce niveau ignore les superstructures (comme cheminées ou chiens assis) qui sont prises en compte à partir du niveau *LoD3*. Le *LoD* des modèles varie selon les applications et la résolution spatiale des données en entrée.

L'évaluation sémantique de reconstructions urbaines reste peu étudiée. Cela consiste à détecter et caractériser les erreurs qui peuvent affecter les modèles 3D de bâtiments. Ces méthodes de diagnostic sont utiles pour la **correction des modèles** urbains aussi bien que pour la **détection de changements**, l'évaluation, et ainsi la **sélection des algorithmes** de reconstruction les plus adaptés selon l'environnement ou encore l'évaluation de la qualité de **reconstruction par la foule**. Dans cet article, une nouvelle **taxonomie d'erreurs** est considérée. Elle est indépendante des démarches de reconstruction 3D et flexible quant aux différents types de modèles en entrée. La qualification est donc formulée comme un **problème de classification supervisée** qui dépend du niveau de détails recherché. Une **référence d'attributs intrinsèques** aux *modèles 3D* est calculée à partir de la géométrie des modèles de bâtiments en entrée. L'idée est que notre méthode prenne en entrée les données les moins complexes possibles.

2 État de l'art

Différentes méthodes de qualification de modèles 3D urbains ont été proposées. Elles peuvent être classées selon les critères sur lesquelles elles s'appuient : **indices géométriques de précision** ou **erreurs sémantiques** (topologiques ou géométriques). Les indices géométriques permettent de quantifier la précision d'une modélisation à partir de la précision de points particuliers (sommets, points d'intersection ...), des surfaces ou des volumes des modèles 3D en les comparant à des données de références de plus grande précision [7]. Ces indices ne permettent pas de bien décrire les défauts d'une reconstruction et sont, la plupart du temps, trop locaux. Une taxonomie d'erreurs sémantiques est donc préférable. Elle peut reposer sur le paradigme des feux de circulation [2] (Correct, Acceptable, Généralisé et Faux), mais nécessite de définir le niveau de généralisation acceptable pour une reconstruction. La taxonomie peut également adopter le point de vue des méthodes de reconstruction. Les erreurs sont, alors, discriminées en erreurs d'emprise de bâtiments (contour erroné, bâtiment inexistant, cours intérieure manquante et emprise imprécise), en erreurs de reconstruction intrinsèques (sous-segmentation, sur-segmentation, toit inexact, translation en Z) à la méthode et en erreur due à l'occlusion végétale [5]. L'évaluation d'un modèle urbain est donc faite grâce une classification supervisée qui prend comme étiquettes les erreurs ainsi définies. Pour caractériser ces modèles, des attributs peuvent être calculés à partir des images aériennes ou des Modèle Numérique de Surface (MNS) à très haute résolution spatiale (20 cm à 25 cm), en comparant des segments 3D ou des indices de corrélation de texture, par exemple [2, 5]. La plupart du temps, la difficulté réside dans le choix de la taxonomie. Il faut éviter qu'elle soit trop générale pour ne pas être surajustée par rapport à une scène ou une méthode de reconstruction donnée.

3 Méthode proposée

Elle consiste à évaluer un *modèle 3D*, en prédisant les erreurs qui l'affectent. Ces erreurs sont définies selon une taxonomie hiérarchique. Conformément au besoin de la qualification, nous considérons un certain jeu d'étiquettes. Un modèle de classification supervisée est donc entraîné, à partir d'un ensemble de modèles annotés, puis évalué, au niveau du bâtiment, afin de prédire la qualité de la modélisation des autres modèles et de préciser les erreurs qui les affectent. Cette méthode flexible décrit les modèles urbains grâce à des attributs géométriques intrinsèques directement dérivés du *modèle 3D*, auxquels on peut ajouter des attributs altimétriques, en comparant l'altimétrie du modèle au MNS, ou des attributs radiométriques, calculés à partir de l'orthoimage de la scène.

3.1 Taxonomie d'erreurs

Pour définir une nouvelle taxonomie générique mais flexible, deux critères sont pris en compte : le Niveau de Détails (*LoD*) et la *finesse* de l'erreur. La *finesse* représente le niveau de sémantisation des erreurs. Une erreur est dite de *finesse* maximale si elle correspond à une action unitaire de la part d'un opérateur au moment de sa correction. On définit ainsi ce que l'on appellera une erreur *atomique*.

Du point de vue opérationnel, les bâtiments ne sont pas tous qualifiables. En effet, quelques bâtiments peuvent être occultés par la végétation ou se trouver au bord de la région traitée. Dans ces cas pathologiques, nous estimons que la qualification n'est pas un problème bien défini. Nous discriminons, ainsi, entre bâtiments *qualifiables* et bâtiments *non qualifiables*. Cette classification est considérée de *finesse* 0. Au niveau de *finesse* suivant, les bâtiments sont classés selon qu'ils sont *valides* ou *erronés*. Ces derniers sont ensuite divisés selon le Niveau de Détail *LoD* en familles d'erreurs de *finesse* 2. En effet, une famille d'erreurs, nommée "*Erreurs de Bâtiment*", est consacrée aux défauts qui affectent le bâtiment dans son intégralité (niveau $LoD0 \cup LoD1$). La famille "*Erreurs de Facettes*" contient les erreurs qui concernent les facettes — façades ou toit — des bâtiments (niveau *LoD2*). La dernière famille, "*Erreurs de Superstructures*", englobe les erreurs qui atteignent les superstructures reconstruites (niveau *LoD3*). Ces familles contiennent chacune des erreurs atomiques de *finesse* maximale égale à 3.

Cette catégorisation est indépendante de la méthode de reconstruction ou de la scène à modéliser. L'étiquetage est non redondant : les erreurs atomiques relevées sont indépendantes entre elles et ne représentent que des défauts particuliers, topologiques ou géométriques. Les erreurs topologiques relèvent les erreurs de structure du modèle reconstruit. Les erreurs géométriques mettent en évidence l'imprécision de la reconstruction. Chaque erreur atomique se voit attribuée une note, au moment de l'annotation par l'opérateur, sur une échelle de 0 à 10, et représente le degré de confiance en la présence du défaut. Cela revient à une discrétisation de la probabilité d'existence de l'erreur. Les erreurs de *finesse* inférieure héritent des erreurs de leurs filles (i.e. de *finesse* plus grande). En effet, elles sont aussi sûres que les erreurs qu'elles contiennent. Leur note attribuée est donc le maximum des notes des erreurs filles.

Au moment de la qualification, trois paramètres entrent en jeu : un niveau de *LoD*, un niveau de *finesse* et l'*exclusivité*. En précisant un *LoD* donné, les erreurs de plus grand Niveau de Détail sont ignorées. En fixant une *finesse* donnée, on ne discrimine que selon les erreurs du même ordre de *finesse*. Le dernier paramètre est l'*exclusivité* des erreurs. Dans le cas exclusif, nous ne relevons que la famille d'erreurs représentant le plus petit Niveau de Détail : c'est un problème de classification *Multi-Classes*. Dans le cas contraire, nous rapportons toutes les erreurs (i.e. Un objet peut être affecté par plusieurs erreurs) : c'est un problème *Multi-Étiquettes*.

On propose les familles d'erreurs suivantes pour le niveau *LoD2* :

- (i). **Erreurs de Bâtiment** :
 - Sous segmentation : deux bâtiments, ou plus, représentés comme un seul ;
 - Sur segmentation : un bâtiment est modélisé en deux ou plusieurs bâtiments ;
 - Empreinte imprécise : l'emprise du bâtiment est inexacte ;
 - Hauteur imprécise : la hauteur du bâtiment est mal estimée ;
- (ii). **Erreurs de Facette** :
 - Sous segmentation : deux facettes, ou plus, représentées comme une seule ;
 - Sur segmentation : une facette est modélisée en deux ou plusieurs facettes ;
 - Segmentation imprécise : les arêtes qui séparent les facettes sont inexactes ;
 - Pente imprécise : la pente de la facette est inexacte.

3.2 Descripteurs 3D

Nous proposons des attributs de bâtiments les plus simples possibles. Ils sont de deux types. Les **attributs géométriques** sont calculés à partir de statistiques (histogramme ou une liste contenant le maximum, le minimum, la moyenne, le médian et/ou l'écart type) de quelques propriétés géométriques des facettes des bâtiments : nombre de sommets, aire

de la surface, angles entre les normales de facettes adjacentes et/ou toutes les facettes, distance entre les centroïdes des facettes adjacentes et/ou toutes les facettes. Les **attributs altimétriques** sont issus d'un histogramme de la différence entre le *modèle 3D* et un MNS externe à très haute résolution spatiale. La résolution du MNS est inférieure à l'ordre de grandeur des bâtiments et doit être plus grande que l'erreur planimétrique du *modèle 3D* afin de garantir une robustesse au bruit.

3.3 Classification

Les différents attributs (géométriques(4×4) + altimétriques(5) = 21) obtenus sont, en suite, concaténés dans un seul vecteur. Nous appliquons des Forêts Aléatoires — qui peuvent gérer des descripteurs multimodaux et nombreux — à 800 arbres et de profondeur maximale de 4. La profondeur est limitée à 4 dans le but d'éviter le surapprentissage, contrairement au nombre d'arbres qui est très grand de façon à couvrir tout l'espace d'attributs. Ce classifieur a été adapté, au cas de la classification *Multi-Étiquettes*, en utilisant la stratégie *Un contre Tous*.

4 Résultats

Nous appliquons notre approche à une surface de 0,2km² contenant 502 bâtiments dans la ville d'Élancourt (78). Les modèles 3D ont été générés à partir d'une base de données d'emprises cadastrales [3]. L'extrapolation de la topologie du toit se fait en simulant les formes de toits plausibles, à partir des images orientées, avant de les confronter à un MNS à 0,06m de résolution. Les façades du modèle relient la ligne de gouttière au sol. On obtient une modélisation 2,5D de la scène à un Niveau de Détail *LoD2*. Le Tableau 1 rapporte des premiers résultats de tests utilisant des attributs géométriques et altimétriques, par validation croisée 10 – *fold*.

Nous remarquons que les **Erreurs de Bâtiments** sont de faible exhaustivité. Ceci peut être expliqué par le fait que ces erreurs sont mal représentées dans nos échantillons (24% parmi les 502 bâtiments). C'est aussi le cas de **Pente imprécise**, de **Segmentation imprécise** et de **Sous Segmentation** qui sont aussi peu présentes, avec 6,87%, 6,57% et 2,67%, respectivement, de présence parmi tous les bâtiments à qualifier. Cette rareté explique aussi pourquoi on obtient des précisions globales proche de 1 alors que les rappels sont très faibles.

5 Conclusion et perspectives

Nous avons proposé un nouveau cadre de qualification de modèles 3D polyédriques de bâtiments. Il repose sur une taxonomie hiérarchisée d'erreurs sémantiques indépendantes des modèles à qualifier. Nous nous servons d'une classification supervisée d'attributs géométriques et altimétriques des bâtiments reconstruits, afin de prédire les erreurs d'un modèle en entrée. Une démonstration sur 502 bâtiments donne des résultats mitigés pour des étiquettes qui sont sous représentées. La prochaine étape consiste à ajouter des attributs radiométriques ainsi qu'augmenter la base d'apprentissage puis d'étudier l'apport de chacune des améliorations. Nous envisageons, enfin, d'explorer l'apprentissage non supervisé ou une approche semi-supervisée afin d'enrichir notre taxonomie et de propager les prédictions sur d'autres zones jamais vues.

Références

- [1] F. Biljecki, J. Stoter, H. Ledoux, S. Zlatanova, and A. Çöltekin. Applications of 3D city models : state of the art review. *IJGI*, 4(4) :2842–2889, 2015.
- [2] L. Boudet, N. Paparoditis, F. Jung, G. Martinoty, and M. Pierrot-Deseilligny. A supervised classification approach towards quality self-diagnosis of 3D building models using digital aerial imagery. *IAPRS*, 36(3) :136–141, 2006.
- [3] M. Durupt and F. Taillandier. Automatic building reconstruction from a Digital Elevation Model and cadastral data : an operational approach. *IAPRS*, 36(3) :142–147, 2006.
- [4] T. H. Kolbe, G. Gröger, and L. Plümer. CityGML : Interoperable access to 3D city models. In *Geo-information for disaster management*, pages 883–899. Springer, 2005.
- [5] J.-C. Michelin, J. Tierny, F. Tupin, C. Mallet, and N. Paparoditis. Quality evaluation of 3D city building Models with automatic error diagnosis. *IAnPRS*, XL-7/W2 :161–166, 2013.
- [6] P. Musialski, P. Wonka, D. G. Aliaga, M. Wimmer, L. van Gool, W. Purgathofer, and L. V. Gool. A survey of urban reconstruction. *EUROGRAPHICS 2012 State of the Art Reports*, xx :1–28, 2012.
- [7] C. Zeng, S. Member, T. Zhao, and J. Wang. A multicriteria evaluation method for 3D building reconstruction. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(9) :1619–1623, 2014.

Erreur	Précision globale	Rappel (Exhaustivité)	Précision (Exactitude)
Sous Seg. Bât.	0,948	0,63	0,868
Sur Seg. Bât.	0,971	0,158	1,00
Emp. Impr.	0,906	0,236	0,929
Haut. Impr.	0,997	0,00	<i>NaN</i>
Sous Seg. Fac.	0,919	0,14	0,41
Sur Seg. Fac.	0,991	1,00	0,988
Seg. Fac. Impr.	0,919	0,00	<i>NaN</i>
Pente Impr.	0,974	0,143	1,00

Tab. 1 – Qualification *non exclusive* de *finesse* = 3 et de *LoD2*.