



Sujet de thèse

Détection de changements et mise à jour de modèles 3D territoriaux

Equipe ACTE / Laboratoire LaSTIG / Ecole Nationale des Sciences Géographiques (ENSG)

Université Gustave Eiffel (UGE) / Institut National de l'Information Géographique et Forestière (IGN)

- **Discipline** : Informatique
- **Spécialité** : Sciences de l'Information Géographique
- **Structure de Recherche** : LaSTIG/IGN
- **Lieu de travail principal** : Géodata Paris, 6-8 av Blaise Pascal, 77 420 Champs sur Marne
- **Encadrants/contacts**:
 - Bruno Vallet (bruno.vallet@ign.fr), IGN
 - Florent Lafarge (florent.lafarge@inria.fr), INRIA
- **Description courte** : Elaboration d'un modèle de données permettant de représenter un territoire de façon hiérarchique et structurée, ainsi que ses évolutions dans le temps. Détection de changements entre un modèle de ce type et des données acquises plus récemment et sa mise à jour.
- **Mots clefs**: Vision par ordinateur 3D, géométrie algorithmique, détection de changements, mise à jour, structures de données géométriques
- **Profil attendu**. Le candidat devrait avoir un bon niveau en mathématiques et en particulier en géométrie 3D et en informatique (en particulier savoir programmer en Python et C/C++). Il devra avoir un goût prononcé pour la recherche scientifique et savoir faire preuve d'autonomie, de rigueur et de créativité.

Contexte général et contexte IGN

L'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) est l'opérateur de référence pour l'information géographique et forestière en France. Le LASTIG (Laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information Géographique pour la ville intelligente et les territoires durables) mène des recherches finalisées en sciences et techniques de l'information géographique. Les recherches de l'unité couvrent l'ensemble du cycle de vie de la donnée géographique ou spatiale, de son acquisition à sa visualisation, en passant par sa modélisation, son intégration et son analyse. Le LASTIG s'intéresse particulièrement aux référentiels géographiques spatio temporels qui sont au coeur des missions de l'IGN. Le LASTIG est composé de quatre équipes de recherche dont l'équipe ACTE (ACquisition et

TraitEments) qui s'intéresse plus particulièrement à la collecte et aux traitements de données de télédétection (Image, Lidar, Radar) collectées à partir de plateformes satellites, aéroportées ou terrestres.

L'IGN et l'INRIA participant au projet JUNN (Jumeau Numérique National) qui vise à produire un jumeau numérique du territoire français, de le faire vivre et de l'utiliser pour adresser de nombreux cas d'usage (urbanisme, visualisation/communication/concertation, simulation, ...). L'une des composantes du JUNN est un modèle 3D structuré de l'ensemble du territoire. Un modèle est dit structuré si il offre une représentation hiérarchique de tous les objets présents sur le territoire, et que chaque objet final (au plus bas niveau de la hiérarchie) a une géométrie fidèle à la réalité et consistante avec la géométrie des autres objets de la scène. Par exemple, un bâtiment est composé de géométries finales (façades, pans de toits, superstructures) qui doivent être adjacentes entre elles mais aussi avec d'autres objets de la scène comme le terrain sur lequel le bâtiment est posé et les bâtiments adjacents.

Dans le cadre du JUNN, ces modèles 3D structurés seront produits à partir de données lidar issues de la campagne LidarHD de l'IGN entre 2021 et 2026, et de techniques de reconstruction automatiques basées objets [1, 2] permettant de produire une représentation structurée dans le modèle de données CityGML [3]. Un enjeu important du projet LidarHD sera la mise à jour de ce modèle 3D structuré à partir d'imagerie aérienne ou satellite, acquises plus fréquemment que le Lidar mais de qualité moindre.

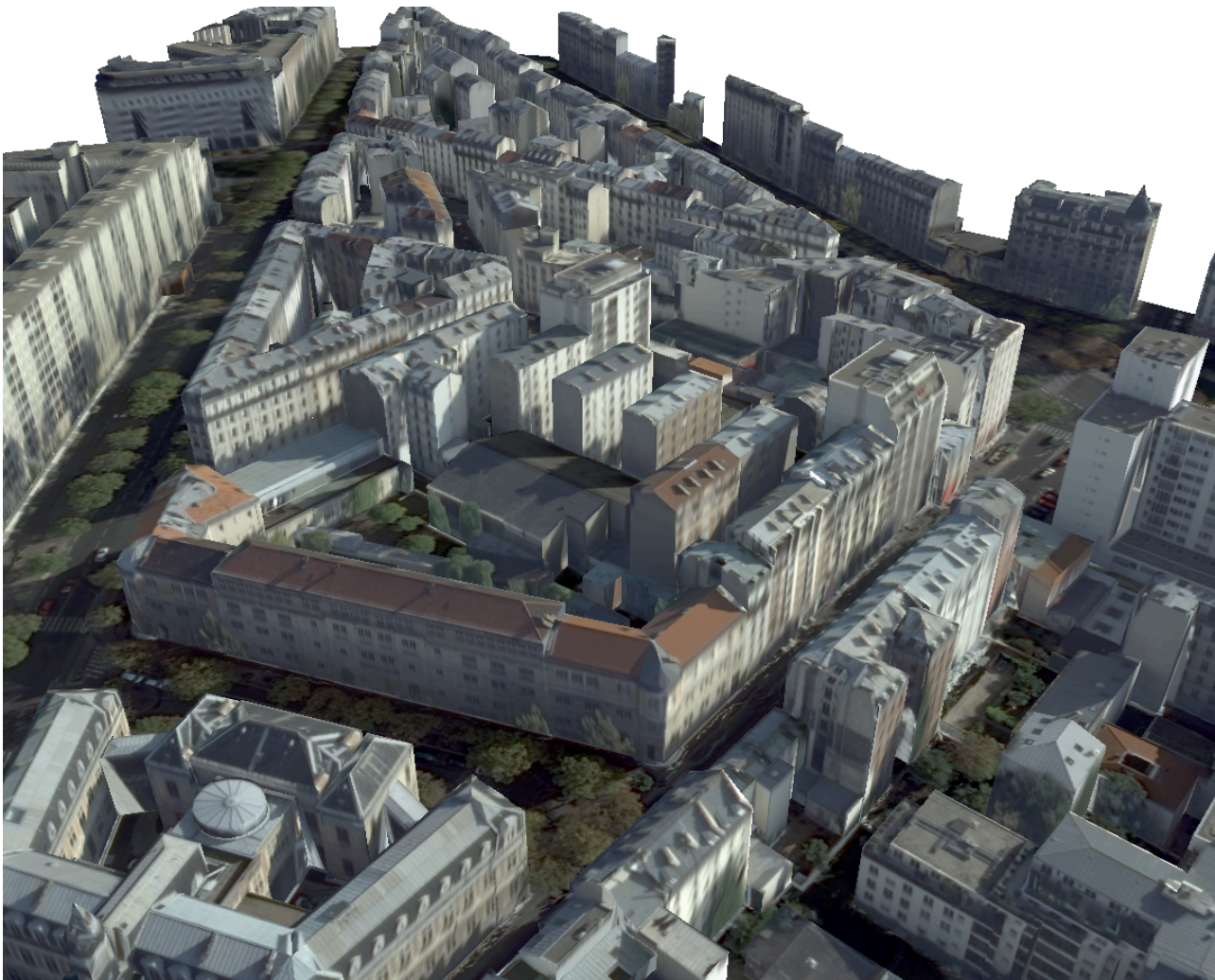


Figure 1: Un modèle 3D structuré du quartier de la mairie du XIIIème arrondissement produit par l'IGN.

Objectifs scientifiques

Les verrous scientifiques pour cette mise à jour sont multiples:

- Les modèles CityGML ne modélisent pas explicitement les adjacences des objets dont les représentations 3D sont définies de façon indépendantes. Ceci risque de poser problème pour la mise à jour d'objets (ou parties d'objets) adjacents à des objets (ou parties d'objets) qui n'ont pas changé, ce qui nécessite de modéliser explicitement ces adjacences.
- D'autre part, le modèle CityGML donne une vue d'une scène 3D à un instant donné et ne permet pas une modélisation explicite de tous les changements pouvant affecter les objets de cette scène au cours du temps: apparitions/disparitions, fusions, scissions, modifications structurelles, déformations, ...
- Pourvoir détecter tous ces différents types de changements au niveau des objets d'un modèle structuré 3D à partir de nouvelles images aériennes ou satellite et les appliquer à une représentation 3D tout en maintenant sa cohérence sont des problèmes encore très ouverts

La thèse se propose d'adresser ces problèmes en 3 étapes:

1. Trouver une représentation pour les modèles 3D structurés qui permette de représenter les évolutions des objets qui la compose tout en maintenant la cohérence globale de la scène et en particulier les adjacences d'objets [3], possiblement par le biais d'une triangulation 3D de l'ensemble des objets permettant du partage de géométrie [4, 5]. L'idée est alors de représenter toute la géométrie de la scène par un seul mesh (surfaique ou volumique) dont tous les objets sont définis comme des sous ensembles.
2. Convertir les représentations usuelles (de type CityGML) vers cette représentation plus riche.
3. Détecter des changements des types listés ci-dessus à partir d'un modèle existant et de données d'imagerie aérienne ou satellitaires plus récentes. On pourra utiliser une méthode basée directement sur les nouvelles images [6], sur une description de la nouvelle géométrie [7] ou par classification de types de changements [8].
4. Appliquer les changements correspondants à la représentation proposée en 1 afin d'obtenir une représentation 3D unique maximisant à fois actualité et la qualité comme proposé par [9] pour les maillages 3D.

Un enjeu majeur sera de proposer une méthode robuste, précise, et pouvant passer à l'échelle sur l'entièreté du territoire français.

Programme de travail

Le sujet de thèse proposé concerne la mise en place d'une chaîne complète de mise à jour de modèles territoriaux 3D structurés. Le travail se décomposera en:

- Un état de l'art des méthodes actuelles de détection de changements hybrides (entre données de types différents) et de qualification de modèles 3D.
- Etude du format CityGML et des autres types de représentations de modèles 3D territoriaux structurés.
- L'appropriation des données d'entrée de la chaîne: images orientées, nuages de points Lidar et modèles 3D structurés.

- Proposition d'une représentation (possiblement déjà existante) permettant de modéliser de façon structurée un territoire en 3D et ses évolutions.
- Proposition d'une méthode de détection de changements à partir d'un modèle structuré et/ou du LidarHD ayant servi à sa construction et d'imagerie aérienne et/ou satellite plus récente.
- Proposition d'une méthode de mise à jour du modèle 3D pour les changements détectés.
- Evaluation de la chaîne complète sur des zones suffisamment larges et variées pour s'assurer de sa capacité à passer à l'échelle et à aborder des types de paysages variés.

References

- [1] Peters, R., Dukai, B., Vitalis, S., van Liempt, J., Stoter, J., 2022. Automated 3D reconstruction of LoD2 and LoD1 models for all 10 million buildings of the Netherlands. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 88(3), 165–170.
- [2] Bauchet, J. P., Sulzer, R., Lafarge, F., & Tarabalka, Y. (2024). Simplicity: Reconstructing buildings with simple regularized 3d models. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7616-7626).
- [3] Jahn, M. W., Kuper, P., and Breunig, M.: EFFICIENT SPATIO-TEMPORAL MODELLING TO ENABLE TOPOLOGICAL ANALYSIS, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, X-4/W2-2022, 137–144, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W2-2022-137-2022>, 2022.
- [4] Brédif, Caraffa, Yirci and Memari. Provably Consistent Distributed Delaunay Triangulation. *ISPRS Annals 2020*
- [5] Grzeczkwicz, G., & Vallet, B. (2024). Semantic edge collapse: A mesh edge collapse algorithm preserving per face semantic information. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, 185-192.
- [6] Huang, X., Zhang, L., Zhu, T., 2013. Building change detection from multitemporal high-resolution remotely sensed images based on a morphological building index. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(1), 105–115.
- [7] Xiao, W., Vallet, B., & Paparoditis, N. (2013). Change detection in 3D point clouds acquired by a mobile mapping system. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2, 331-336.
- Ennafii, O., Le Bris, A., Lafarge, F., & Mallet, C. (2019). A learning approach to evaluate the quality of 3D city models. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 85(12), 865-878.
- [9] Wu, T., Vallet, B., & Demonceaux, C. (2023). Mobile mapping mesh change detection and update. *arXiv preprint arXiv:2303.07182*.