

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 121 (2023)

Heft: 9-10

Artikel: Mise à jour des relevés cadastraux à l'aide de photographies aériennes
obliques et de l'IA

Autor: Carreaud, Antoine / Morel, Kilian / Gressin, Adrien

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1050252>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Mise à jour des relevés cadastraux à l'aide de photographies aériennes obliques et de l'IA

La mise à jour périodique de la mensuration cadastrale couvre les éléments naturels et artificiels qui ont été modifiés sans permis de construire, fournissant ainsi des données de base aux utilisateurs publics et privés actifs dans les projets d'infrastructure et de développement territorial. A l'échelle d'un canton, une telle opération nécessite des ressources humaines et financières considérables. Afin d'évaluer le potentiel des algorithmes d'intelligence artificielle dans la reconnaissance automatique d'objets, la Direction du cadastre et de la géoinformation du canton de Vaud et l'Institut d'ingénierie du territoire de la HEIG-VD (INSIT) collaborent à la mise en place d'un prototype d'automatisation de cette tâche en milieu urbain à partir de photographies aériennes obliques et d'algorithmes d'intelligence artificielle.

Die periodische Nachführung der Grundbuchvermessung betrifft natürliche und künstliche Elemente, die ohne Baubewilligung verändert worden sind, und liefert öffentlichen und privaten Nutzern Grundlagendaten für Infrastrukturprojekte und Raumentwicklung. Auf Kantonsstufe erfordert dies beträchtliche personelle und finanzielle Ressourcen. Um das Potenzial der Algorithmen der künstlichen Intelligenz in der automatischen Erkennung von Objekten abschätzen zu können, erstellen die Direktion für Kataster und Geoinformation des Kantons Waadt und das Institut für Raumingenieurwesen der Fachhochschule HEIG-VD (INSIT) gemeinsam einen Prototypen im städtischen Umfeld mittels Luftaufnahmen und KI-Algorithmen.

L'aggiornamento periodico della misurazione catastale riguarda gli elementi naturali e artificiali che sono stati modificati senza licenza edilizia, fornendo così dei dati di base agli utenti pubblici e privati che seguono progetti infrastrutturali e di sviluppo territoriale. A livello di cantone, un'operazione di questo genere presuppone tuttavia di disporre di ingenti risorse umane e finanziarie. Per valutare il potenziale degli algoritmi d'intelligenza artificiale nel riconoscimento automatico degli oggetti, la Direzione del catasto e della geoinformazione del canton Vaud e l'Istituto di ingegneria del territorio della SUP HEIG-VD (INSIT) collaborano alla realizzazione di un prototipo di automazione di quest'operazione, partendo da riprese aeree oblique e algoritmi di intelligenza artificiale.

A. Carraud, K. Morel, A. Gressin,
Y. Deillon

1. Orientation de la recherche

La mise en œuvre d'algorithmes IA sur des ortho-images et les processus de réalisation sont déjà appliqués aujourd'hui de

manière opérationnelle. Cependant, les principales limitations de la reconnaissance automatique en milieu urbain directement sur une ortho-image portent sur les zones cachées (par exemple sous la végétation ou aux pieds des bâtiments), le fait qu'il n'y a qu'une seule source d'information pour identifier un objet et, finalement, que l'objet n'est pas forcément identifié avec une orientation optimale.

D'un autre côté, l'utilisation d'algorithmes d'IA sur des photographies aériennes obliques permettrait de:

- générer des modèles 3D, en particulier pour les bâtiments,
- augmenter la visibilité des objets sous les arbres, sous des ouvrages, les différentes façades des bâtiments, etc.,
- détecter les objets sous différents angles de visibilité (redondance), afin d'améliorer la robustesse de la méthode de classification.

L'application d'algorithmes IA avec des photographies aériennes obliques est nouvelle et représente un véritable défi technique. Par contre, elle présente clairement un meilleur potentiel de reconnaissance automatique en milieu urbain et de modélisation 3D.

2. Travaux effectués

Une chaîne de traitements a été mise en place (Figure 2) et sera décrite, ci-après, étape par étape et selon la numérotation mentionnée. Sur cette Figure, le processus d'apprentissage et le processus de production se distinguent respectivement par des flèches en pointillées et des flèches pleines.

2.1 Données brutes

Dans le cadre de cette étude, 1700 images nadirales et obliques ont été acquises avec un drone à aile fixe EbeeX, équipé du capteur SODA 3D. Les images ont une résolution moyenne de 4 cm (soit une hauteur de vol d'environ 120 m), sur une zone urbanisée de 210 hectares de la Ville de Lausanne.

Les traitements photogrammétriques ont permis d'obtenir les orientations et positions des images, ainsi qu'un nuage de points dense de 150 millions de points (Figure 3).

2.2 Génération des données d'entraînement

Les données d'entraînement nécessaires pour la segmentation d'images correspondent à un masque décrivant pixel par pixel la classe des objets visibles associé à

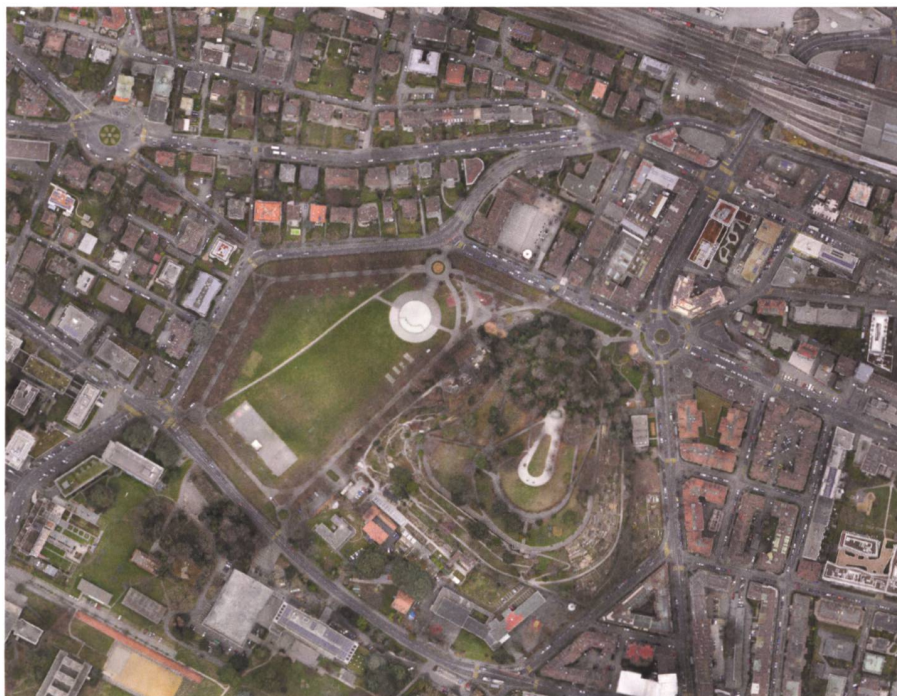


Fig. 1: Périmètre du prototype de MPD de la MO par algorithmes d'IA (Ville de Lausanne).

chacune des images brutes. Dans le cadre de ce projet, une méthode de labélisation semi-automatique a été développée à satisfaction, en utilisant les données du cadastre existant. Cette méthode a fait l'objet d'un article et d'une présentation technique lors du symposium international sur les géosciences et la télédétection de juillet 2023 à Pasadena en Californie (IGARSS 2023): automating image labeling for remote sensing using cadastral database and video game engine simulation¹ Dans le but d'assurer la qualité de l'apprentissage, les données labélisées ont été séparées en deux groupes: un d'entraînement et un de test. Le premier sert à réaliser l'apprentissage de l'algorithme d'IA, alors que le second permet de quantifier sur des données tierces la précision et le taux de rappel de cet algorithme.

2.3 Processus d'apprentissage

Plusieurs architectures ont été testées pour l'apprentissage, en particulier Deeplab v3+ avec différents backbones. La configuration retenue est une architec-

¹ https://2023.ieeeigarss.org/view_paper.php?PaperNum=2507#top

ture Deeplab v3+ avec un Resnet 101 comme backbone, pré-entraîné sur le jeu de données Cityscapes. Pour améliorer la précision sur les limites entre les objets, l'entraînement a été fait en deux étapes:

- une première avec les images sous échantillonnées afin de commencer à spécialiser le réseau sur les classes du projet,
- une deuxième en utilisant leur résolution native, afin d'apprendre au mieux le détail de la forme des objets.

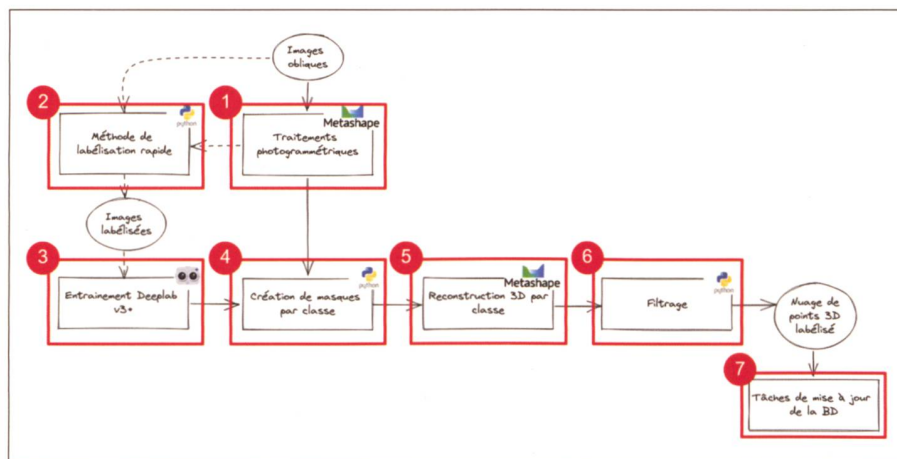


Fig. 2: Chaîne de traitements développée dans le cadre de cette recherche.

Cependant, le fait d'utiliser des images avec une si grande résolution a nécessité de modifier l'entraînement afin d'utiliser uniquement des morceaux d'images selon des découpages aléatoires.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que d'autres approches ont été abordées, notamment:

- l'utilisation de l'architecture Pointrend qui permet d'améliorer la limite des détections,
- d'autres backbones considérés plus performants comme Xception ou HR-NET spécifiquement créé pour des images à haute résolution.

Alors que l'architecture Pointrend ne semble pas donner de résultats satisfaisants, l'utilisation de backbones plus complexes semble améliorer la précision des classifications; éléments à confirmer dans le cadre de projets futurs.

2.4 Résultats au niveau image (2D)

La Figure 4 montre un exemple d'image oblique étiquetée de manière automatique grâce à l'algorithme d'apprentissage profond entraîné dans le cadre de cette étude. L'étude des matrices de confusions (Figure 5) décrivant la précision et le taux de rappel pour chaque classe suite à l'utilisation du modèle entraîné sur l'ensemble de test permet une analyse fine des résultats. Par exemple, les taux de confusion entre les classes accès et route, trottoir et route, forêt et jardin sont importants. Ceci peut s'expliquer par:

- le manque de données d'entraînement spécifiques à ces classes,
- la ressemblance physique de ces classes entre elles, qui sont des variations d'usage du sol, plutôt que de couverture du sol.

2.5 Méthode pour passer de la 2D à la 3D

Après avoir classifié les images, une méthode simple permettant de reconstruire un nuage de points 3D par classe a été utilisée. Cette méthode consiste à importer les masques de segmentation directement dans le logiciel de photogrammétrie et de reconstruire en 3D uniquement les zones de la classe en question. Cette étape a été possible grâce à l'API python du logiciel Agisoft Metashape.

Ainsi, on obtient un nuage de points 3D pour chaque classe. Une étape a été rajoutée afin de prendre en compte la redondance des points de vue disponibles par les images obliques. Plusieurs méthodes ont été testées lors de cette étude, la méthode du vote majoritaire a finalement été retenue. Comme chaque point 3D est vu depuis une dizaine de photos: la classe la plus présente est alors retenue.

Le nuage de points labélisé (Figure 6) obtenu de manière totalement automatique à la fin de la chaîne de traitements développée pourrait avoir beaucoup d'applications dans un futur proche, notamment en matière de modélisation automatique des bâtiments 3D.

2.6 Résultats au niveau 3D

Afin de quantifier le résultat au niveau du nuage de points 3D, les indicateurs de précision et de taux de rappel par classe ont été calculés. Ce calcul est fait par comparaison avec le nuage de points de référence et a permis de faire ressortir des taux de rappel supérieurs à 80% et montant même à 95% pour la classe bâtiment, ainsi que des taux de précision dans la même gamme de valeurs. Il est à noter que les erreurs observées ici proviennent autant d'erreurs de reconstruction 3D par photogrammétrie que d'erreurs de classification 2D.



Fig. 3: Résultat des traitements photogrammétriques.



Fig. 4: Exemple d'image étiquetée automatiquement.

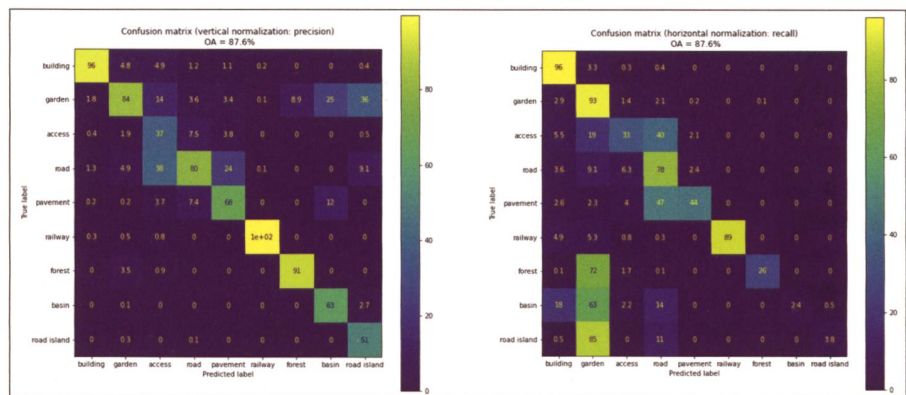


Fig. 5: Matrices de confusions calculées sur la zone de test « 9 classes », (gauche) précisions, elle est lue verticalement, sur la diagonale se trouvent les précisions pour chaque classe; (droite) taux de rappel, elle est lue horizontalement, sur la diagonale se trouvent les taux de rappel pour chaque classe.

Ces résultats sont très satisfaisants et pourraient être encore améliorés par l'utilisation conjointe de données LiDAR afin de diminuer les effets du bruit introduit par la photogrammétrie.

2.7 Vectorisation automatique

L'ensemble des objets de la MO étant encore géré en 2D, il y a lieu de passer d'un nuage de points 3D classifié à des polygones 2D. Cette étape soulève différentes problématiques liées aux définitions et règles de modélisation des objets de la MO, notamment:

- l'emprise au sol de certains objets comme les bâtiments est différente de leur forme en 3D,
- en bordure entre des objets différents, il y a souvent des recouvrements entre les points, dû aux variations de délimitation en fonction de la hauteur des objets, notamment la végétation, et aux imprécisions de la méthode de re-

connaissance automatique et de reconstruction 3D,

- la distinction entre certains objets de la MO ne résulte pas uniquement des informations disponibles sur une photographie aérienne mais également d'usage et/ou de statut administratif/juridique des zones en question.

Pour diminuer l'impact de ces problématiques, un certain nombre de règles et de filtres ont été introduits dans les processus de vectorisation.

3. Analyse des résultats

La comparaison géométrique des objets obtenus selon la chaîne de traitement au moyen d'algorithmes d'IA présentée (Figure 2) et des objets de la MO mise à jour par méthodes traditionnelles montre que la précision planimétrique moyenne obtenue est de l'ordre de ± 40 cm (écart-

type) sur la zone d'étude. Un exemple de différences est mentionné sur la Figure 8. Ainsi aujourd'hui, il est encore difficile d'atteindre les standards de qualité définis par la MO et de traiter aisément des périmètres de la taille d'un canton.

4. Conclusions

Dans le contexte de la MO mais également de manière plus générale pour les systèmes d'information géographique, cette recherche a permis de mettre en évidence:

- le fort potentiel de la reconnaissance automatique des objets des thèmes CS et OD de la MO à partir de photographies aériennes obliques basée sur des algorithmes d'IA, de reconstruction 3D par photogrammétrie puis vectorisation automatique en 3D ou en 2D selon les besoins,
- l'approche novatrice de ce projet qui a réalisé une chaîne de traitements complète basée sur les images obliques et débouchant sur des résultats de classification 3D prometteurs,
- le fait que les résultats finaux de l'ensemble des traitements ne permettent pas d'atteindre ou difficilement, en l'état actuel des développements, les standards de qualité de la MO. Toutefois, il y a lieu d'être conscient que:
- les domaines de recherche des technologies mises en œuvre dans ce travail sont importants et dynamiques, ainsi,



Fig. 7: Passage d'un nuage de points 3D classifiés à des polygones 2D.

- ils permettront d'améliorer de manière constante certains modules de la chaîne de traitement réalisée, respectivement de la simplifier et d'en améliorer l'efficacité,
- les définitions et règles de modélisation des objets des thèmes CS et OD de la MO reposent parfois encore sur des considérations d'usage, administratives et/ou juridiques peu compatibles avec la reconnaissance automatique à partir d'image.
- la nécessité de faire évoluer les définitions, le modèle et les règles de modélisation des objets des thèmes CS et OD de la MO afin d'en favoriser une approche en 3D pour certains objets, modulaire, respectivement participative, entre différents responsables et gestionnaires des géodonnées du territoire;
- la possibilité d'acquérir certains objets directement en 3D de manière grandement automatique.

De plus, il sera utile de combiner dans les traitements des sources de géodonnées différentes, comme par exemple des données existantes de la MO et/ou des données LiDAR.

Ces chaînes de traitements incluant la reconnaissance automatique au moyen d'algorithmes IA vont continuer à se développer et disposent d'un fort potentiel pour la mise en œuvre des stratégies de la Confédération et des cantons en matière de géodonnées de base et spécifiques.

Antoine Carreaud
 Kilian Morel
 Adrien Gressin
 Yves Deillon
 Institut d'ingénierie du territoire de la HEIG-VD (INSIT)
 Route de Cheseaux 1, Case postale
 CH-1401 Yverdon-les-Bains

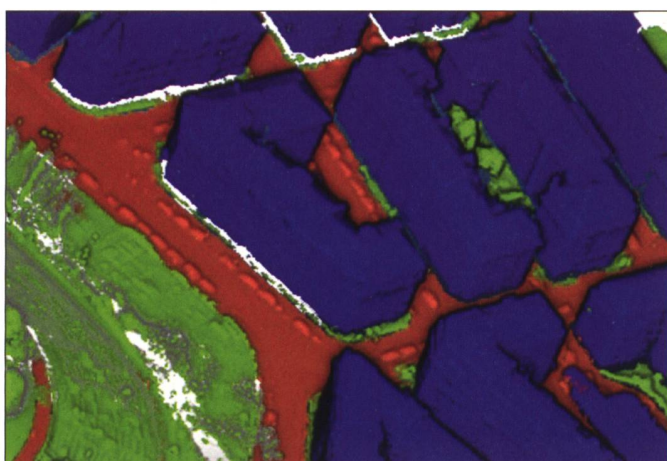


Fig. 6: Nuage de points sur la zone test labélisé automatiquement.

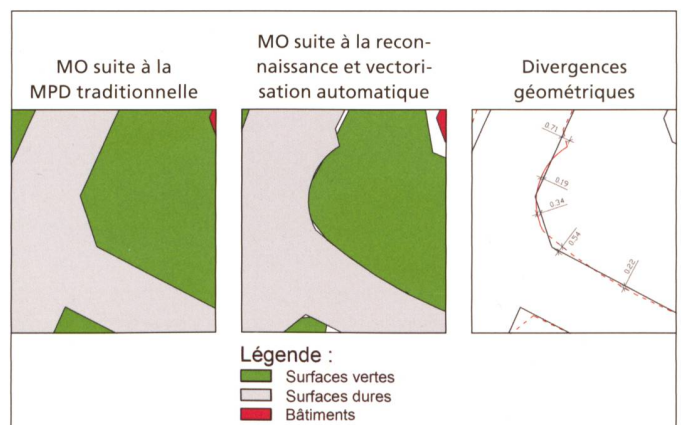


Fig. 8: Différences géométriques entre les objets déterminés selon des algorithmes IA et selon des méthodes traditionnelles.