

Analyse des performances de levers LiDAR via l'iPad Pro en vue de la réalisation de plans d'intérieurs et de maquettes numériques de bâtiments

■ Pauline CHARDON

Depuis 2020, Apple intègre désormais un capteur LiDAR dans ses smartphones et tablettes les plus récents. À l'origine dédiée à la réalité augmentée, son utilisation pour les relevés métriques présente aujourd'hui un intérêt croissant. Devant ce constat, la société FUTURMAP a fait le choix de mener une étude approfondie sur le sujet, en collaboration avec un grand groupe spécialisé dans le diagnostic immobilier. L'objectif de cette étude est donc de mettre en place une nouvelle méthode d'acquisition basée sur les technologies LiDAR mobiles, dans le but d'établir un plan d'intérieur ou une maquette numérique 3D. Dans cette étude, nous avons ainsi approfondi la connaissance de ce système de numérisation afin de déterminer un processus de captation fiable des données. Plusieurs éléments ont été étudiés à la suite d'une série de tests afin de déterminer les limites et les contraintes de ce nouveau dispositif.

■ MOTS-CLÉS

iPad Pro, LiDAR, nuages de points, cartographie rapide, lever métrique 3D, maquette numérique, surface Carrez.

sition basée sur les technologies LiDAR mobiles, afin d'établir un plan d'intérieur ou une maquette numérique 3D. Ainsi, nous allons déterminer un processus de captation fiable des données. Plusieurs éléments vont être étudiés tels que le fonctionnement du capteur LiDAR, les applications mobiles de numérisation 3D, ainsi que la méthodologie d'acquisition et de consolidation des nuages de points.

Capteurs et données

Pour ce projet, nous avons utilisé exclusivement l'iPad Pro 11 pouces 3^e génération (2020). Il est muni du capteur LiDAR, uniquement disponible sur les produits Apple tels que les iPhone 12/13 Pro et 12/13 Pro Max, et les iPad Pro sortis depuis 2020. L'étude s'est déroulée sur l'iPad, néanmoins des tests ont été effectués pour confirmer la conformité de la solution sur l'iPhone 12 Pro.

L'iPad Pro 2020 est doté d'un module photo arrière composé de deux caméras RVB et d'un capteur LiDAR (figure 1). Ce dernier est composé d'un système de détection 3D, qui utilise un capteur d'image proche infrarouge (NIR), à temps de vol direct (dToF) (TechInsights@2022). C'est un LiDAR d'une portée de 5 m, qui crée une fine grille de points (Medium@2022) (figure 2).

D'après le communiqué de presse d'Apple en mars 2020, plusieurs éléments de l'iPad fonctionnent conjointement avec le LiDAR de l'appareil. Les points de profondeur mesurés par ce capteur sont combinés aux données

Contexte de l'étude

De nos jours, dans le cadre d'une mise en vente ou d'une mise en location d'un logement, l'établissement d'un diagnostic immobilier est obligatoire. Plusieurs éléments doivent être évalués, tels que le diagnostic de surface Loi Carrez. Ce dernier est effectué par un diagnostiqueur professionnel et consiste en la réalisation d'un lever d'intérieur.

Aujourd'hui, ces relevés métriques sont majoritairement réalisés à l'aide d'un distancemètre et d'un croquis par une approche traditionnelle. Cette méthode a le mérite d'être parfaitement maîtrisée et permet de former très rapidement de nouveaux opérateurs terrain. Néanmoins, l'intervention est chronophage, et la cohérence du résultat par rapport à la réalité ne peut être vérifiée lors de l'établissement du plan. En conséquence, de plus en plus de diagnostiqueurs se tournent vers un procédé de lever d'intérieur via un scanner laser terrestre (TSL, Terrestrial Laser

Scanner). Ce système donne des résultats plus fiables et permet l'acquisition de logements aux volumes plus grands et plus complexes. Toutefois, l'appareil a un coût conséquent et la consolidation des nuages de points, puis la génération du plan, demandent plus d'expertise que la méthode classique.

Dans l'optique d'optimiser ce processus de diagnostic Loi Carrez, les sociétés spécialisées cherchent donc aujourd'hui à analyser ce système de numérisation 3D via l'iPad Pro. Cette solution s'est en effet imposée comme une alternative évidente. Le principal avantage de ce dispositif est l'accessibilité, d'un point de vue opérationnel comme d'un point de vue financier. Sa prise en main facile, rapide et intuitive, par des personnes non qualifiées aux levers d'intérieurs est également un atout majeur, puisqu'il suffit de se déplacer simplement dans la pièce avec l'appareil pour réaliser l'acquisition.

L'objectif de ce projet est donc de mettre en place une nouvelle méthode d'acqui-

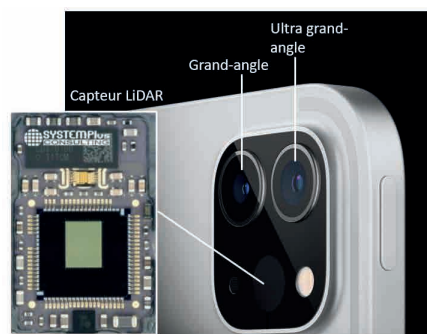


Figure 1. Module arrière de l'iPad Pro 2020 (YoleSystemPlus@2022 et Apple iPad Pro@2022, modifié).



des deux appareils photo, à celles du détecteur de mouvement (accéléromètre et gyroscope), et aux algorithmes de vision artificielle du processeur (Apple Newsroom@2022).

Ce dispositif présente donc quelques disparités par rapport à celui que nous pouvons retrouver sur les appareils topographiques. En effet, les premiers résultats obtenus montrent une dépendance du LiDAR vis-à-vis des capteurs photo : lors de l'acquisition, l'iPad utilise également le suivi optique et enregistre des points d'intérêt sur chaque plan de vue, permettant ainsi d'enregistrer la trajectoire du nuage de points. Lors de tests, nous avons essayé d'occulter les deux caméras arrière de l'iPad, puis une seule des deux tour-à-tour. Nous avons notamment observé que le suivi de l'appareil se perd complètement au bout de quelques secondes d'acquisition (figure 3). De plus, le nuage 3D résultant ne présente pas d'informations sur l'intensité de chaque point.



Figure 3. Acquisition avec les capteurs photos occultés.

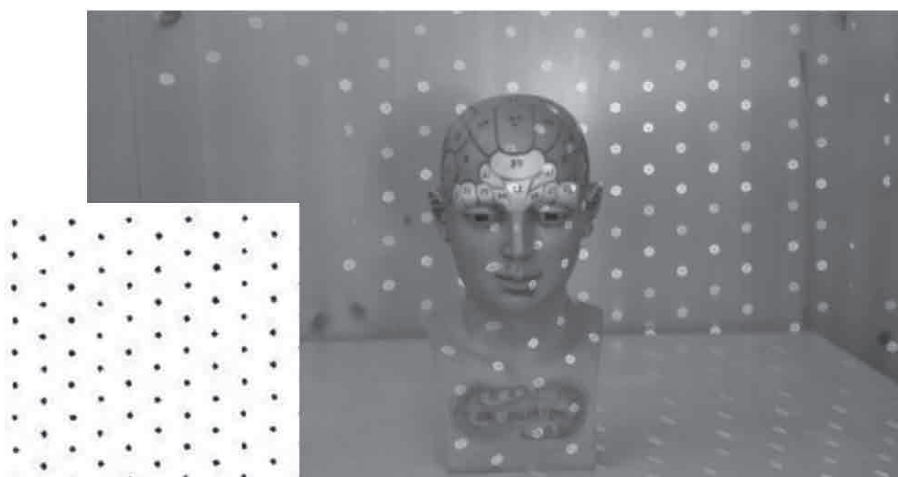


Figure 2. Extrait de la matrice de points projetés par le capteur LiDAR (Spreafico et al., 2021, et Medium@2022, modifié).

Afin de mettre en place un protocole d'acquisition simple et détaillé, nous nous sommes ensuite penchés sur le choix de l'application mobile à adopter.

Mise en place d'un processus d'acquisition

■ Applications mobiles

Depuis la sortie du LiDAR sur les nouveaux appareils Apple, de plus en plus d'applications iOS dédiées à la numérisation 3D se sont développées. Un recensement a donc été réalisé, relevant une centaine d'applications utilisant ce capteur ou développées autour de ses fonctionnalités.

Nous avons effectué une première sélection des applications compatibles avec notre utilisation, selon plusieurs paramètres :

- la disponibilité et sur iPad et sur iPhone ;
- la modélisation axée sur les espaces ou pièce d'un logement ;
- la nécessité de l'utilisation du capteur LiDAR pour fonctionner, et pas seulement de l'aspect photogrammétrique ou l'utilisation du Face ID ;
- le coût de l'application.

Partant de ces critères, nous avons pu filtrer les résultats et une dizaine d'applications pouvant répondre à notre besoin ont été sélectionnées. Nous avons ensuite essayé leur fonctionnement sur une acquisition simple. Quatre applications ont finalement été retenues : SiteScape, Polycam, Canvas et RTAB-Map.

Une analyse plus approfondie sur ces applications a été réalisée dans le but de déterminer celle qui serait la plus intéressante et la plus appropriée pour répondre aux besoins du projet (figure 4). SiteScape se trouve en tête de cette liste. Cette dernière présente plusieurs avantages par rapport à ses homologues, Canvas, Polycam et RTAB-Map. En effet, elle est l'une des seules à être orientée "nuage de points", tandis que les autres types d'applications utilisent un maillage dérivé des nuages acquis. De plus, la densité de points peut être configurée parmi trois options. L'export des données est disponible dans le format RCP, supporté par les logiciels de dessin Revit et AutoCAD. Par ailleurs, la facilité de communication avec les développeurs et leur recherche constante d'améliorations en collaboration



	Stabilité de l'application	Export des données	Facilité d'acquisition	Flexibilité des réglages	Algorithme
SiteScape	***	***	***	**	**
Polycam	***	*	***	*	**
Canvas	**	*	*	*	*
RTAB-Map	**	**	**	***	***

Figure 4. Tableau récapitulatif de l'évaluation de critères pour chacune des applications.

avec les utilisateurs ont également participé à confirmer ce choix.

■ Méthode d'acquisition

Afin de générer un protocole d'acquisition, des tests ont été effectués pour déterminer les limites et contraintes de cette numérisation via l'iPad. Ils ont ensuite été comparés afin d'évaluer la fiabilité des résultats obtenus :

- acquisition avec l'iPad dans toutes les densités de points disponibles de l'application (figure 5), en acquisition unique ou en découpage pièce par pièce ;
- acquisition par la méthode traditionnelle (croquis et distancemètre), par des diagnostiqueurs immobiliers professionnels ;
- acquisition avec un TLS.

Tout d'abord, l'étude montre qu'une numérisation découpée pièce par pièce est nécessaire. En effet, les dérives sur le nuage de points sont trop importantes pour fournir des résultats satisfaisants sur une acquisition unique de l'ensemble du site (figure 6). De plus, nous avons étudié les densités de points que propose l'application. La densité la plus basse a été choisie, car la limite du nombre de

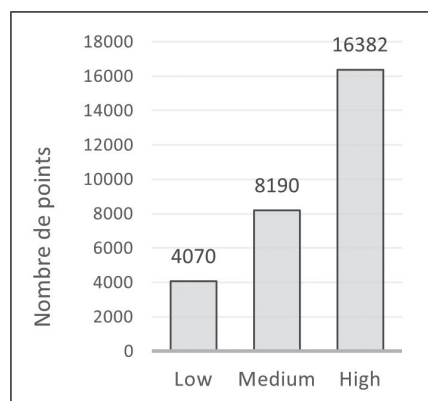


Figure 5. Nombre de points acquis par le capteur LiDAR selon les modes de densité de l'application SiteScape (Spreafico et al., 2021).



Figure 6. Nuage issu d'une acquisition unique via l'iPad Pro d'un duplex de 80 m².

points par fichier définie par l'application ne permet pas de faire l'acquisition d'une pièce entière avec les densités les plus hautes (160 Mo par acquisition ou 12 millions de points).

La densité de points la plus haute a ensuite été comparée avec celle d'un TLS (figure 7). La densité observée sur ce dernier est plutôt homogène et l'écart type est faible. En revanche, la distribution est hétérogène pour les nuages issus de l'iPad, avec un écart type plus élevé. Ces résultats peuvent être dus aux mouvements irréguliers de l'opérateur lors de l'acquisition.

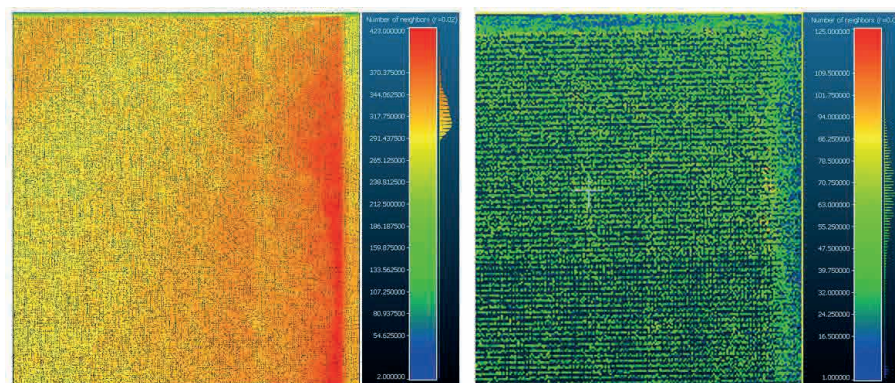


Figure 7. Densité et histogramme de fréquence des nuages de points, à gauche : nuage TLS, à droite, nuage iPad.

Application du processus

■ Analyse de la fiabilité de la surface

Des tests ont ensuite été réalisés en partenariat avec une société spécialisée dans les diagnostics immobiliers afin d'étudier la fiabilité des surfaces obtenues.

D'après la législation de la Loi Carrez, une tolérance de 5 % est acceptée entre la surface présente sur l'acte de vente et la surface mesurée. Nous avons ainsi évalué l'écart relatif entre la surface extraite d'une modélisation issue d'une acquisition avec l'iPad, et la surface mesurée par des diagnostiqueurs. Pour cela, nous avons effectué plusieurs tests en conditions réelles, sur une dizaine d'appartements. Nous avons acquis ces appartements avec l'application SiteScape, tandis que les diagnostiqueurs mesuraient la surface à l'aide d'un distancemètre.

Afin d'évaluer la pertinence de la prestation de lever via l'iPad, les surfaces obtenues par les deux méthodes ont ainsi été comparées, en considérant les surfaces des diagnostiqueurs comme références. De plus, nous avons mesuré le temps imparti pour chacune des méthodes : en moyenne, pour une pièce d'environ 15 m, l'acquisition avec l'iPad nécessite une minute tandis que les diagnostiqueurs ont besoin de cinq minutes par pièce. Après modélisation des appartements et établissement des surfaces, les résultats ont mis en évidence des écarts relatifs variant de 0,23 % à 1,44 % entre nos mesures et celles des diagnostiqueurs (figure 8).

Cependant, un plan issu d'un relevé au distancemètre ne peut être



Logement	Taille	Situation	Surfaces iPad (m²)	Surfaces diagnostiqueurs (m²)	Écarts relatif	Soit :
N° 1	T3	Occupé	74,00	75,08	1,44 %	1,08 m²
N° 2	T3	Vacant	76,79	77,49	0,90 %	0,70 m²
N° 3	T2	Vacant	61,48	60,89	0,97 %	0,59 m²
N° 4	T2	Occupé	43,01	43,34	0,76 %	0,33 m²
N° 5	T2	Vacant	48,86	49,44	1,17 %	0,58 m²
N° 6	T3	Vacant	67,23	66,60	0,95 %	0,63 m²
N° 7	T4	Vacant	83,26	83,45	0,23 %	0,19 m²

Figure 8. Tableau récapitulatif des surfaces mesurées et des écarts observés entre les deux méthodes d'acquisition.

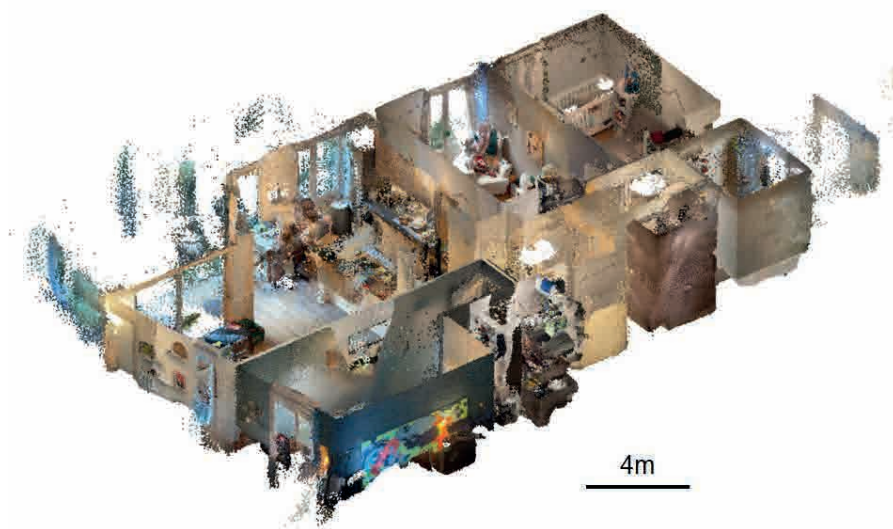


Figure 9. Résultat de la consolidation des nuages de points d'un appartement de 80 m².



considéré comme vérité terrain, car cette méthode est propice aux fautes opératoires (oublis de prises de mesure, etc.) et des interpolations sont nécessaires lors du dessin du plan. Cela nous a donc amenés à comparer les données acquises via l'iPad avec les données issues d'une acquisition au TLS. Cette analyse menée sur des locaux de 180 m² a montré un écart relatif de 0,05 % entre les deux surfaces, ce qui est bien plus faible qu'avec les surfaces mesurées par les diagnostiqueurs. Cette comparaison avec la méthode via scanner laser terrestre n'a été réalisée que sur deux sites, néanmoins les très faibles écarts nous amènent à penser que l'acquisition de nuages de points via l'iPad Pro produit des résultats fiables en termes de surfaces des logements mesurés. Ainsi, au vu des écarts maximums obtenus, nous pouvons valider cette méthode d'acquisition via l'iPad Pro pour la détermination de surfaces Carrez.

Consolidation des nuages

Dans la dernière partie de l'étude, nous avons étudié les méthodes de consolidation de nuage de points afin de choisir le système le plus facile à mettre en œuvre pour ce processus dédié aux diagnostiqueurs (figure 9).

Plusieurs logiciels ont été étudiés, comme CloudCompare, SCENE et RealWorks, et la plateforme en ligne SiteScape, où sont synchronisés les nuages de points acquis avec l'application du même nom, (figure 10) et trois types d'assemblages ont été étudiés :

- l'assemblage manuel, qui consiste en la superposition des nuages par une suite de translations approchées faites à la main ;

Logiciels utilisés	Assemblage manuel	Assemblage automatique	Basé sur cibles
CloudCompare	✓	✓	✗
SiteScape	✓	✓	✗
SCENE	✗	✓	✓
RealWorks	✗	✓	✓

Figure 10. Consolidations et logiciels étudiés.

- l'assemblage automatique, qui consiste en un assemblage nuage-à-nuage ;
- et l'assemblage basé sur cibles pour certains logiciels comme SCENE et RealWorks.

Nous avons pris comme référence un nuage de points acquis via TLS. Nous avons évalué ces méthodes en termes d'écarts par rapport au nuage référence, en degrés de technique requise pour effectuer l'opération, et en rapidité du processus.

CloudCompare : Nous avons tout d'abord constaté que les assemblages via CloudCompare sont les plus chronophages et les moins intuitifs à mettre en œuvre, et les écarts obtenus avec la méthode automatique sont les valeurs les plus élevées de l'étude (5,8 cm).

SCENE et RealWorks : Nous nous sommes ensuite concentrés sur les recalages par détection automatique de cibles par SCENE et RealWorks. Cependant, en raison de la trop faible densité de points des nuages de l'iPad, les tests n'ont pas été concluants. En revanche, les consolidations automatiques de ces deux logiciels ont fourni de meilleurs résultats (5,0 cm). La technique requise est cependant trop complexe pour la destination de ce processus. Par ailleurs, la licence du logiciel est onéreuse par rapport au prix du système d'acquisition qui se trouve autour de 1 000 euros.

SiteScape : Ainsi, la consolidation nuage-à-nuage de SiteScape semble être la méthode la plus appropriée. La technique est simple et rapide. Cependant, cet outil a ses limites ; en effet si les fichiers à assembler proviennent de deux sessions différentes, l'algorithme de recalage de l'application ne parvient pas systématiquement à correctement replacer les nuages entre eux (figure 11, a). Nous pouvons donc également utiliser la consolidation manuelle sur cette même plateforme (figure 11, b).

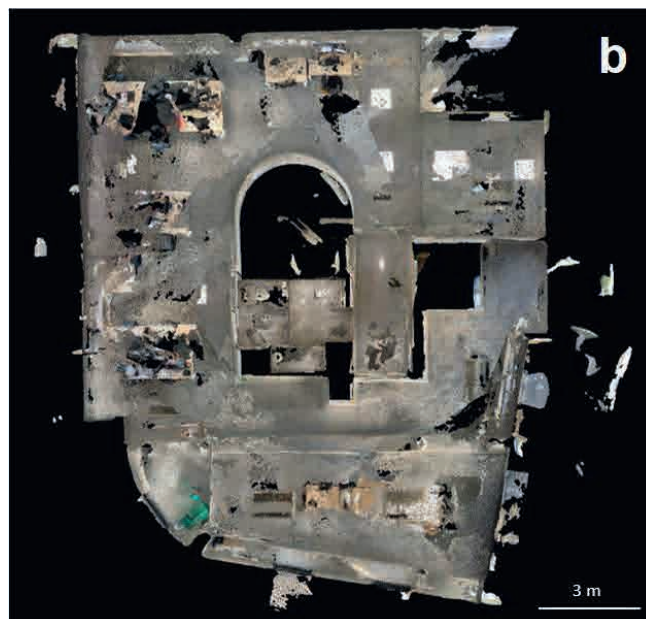
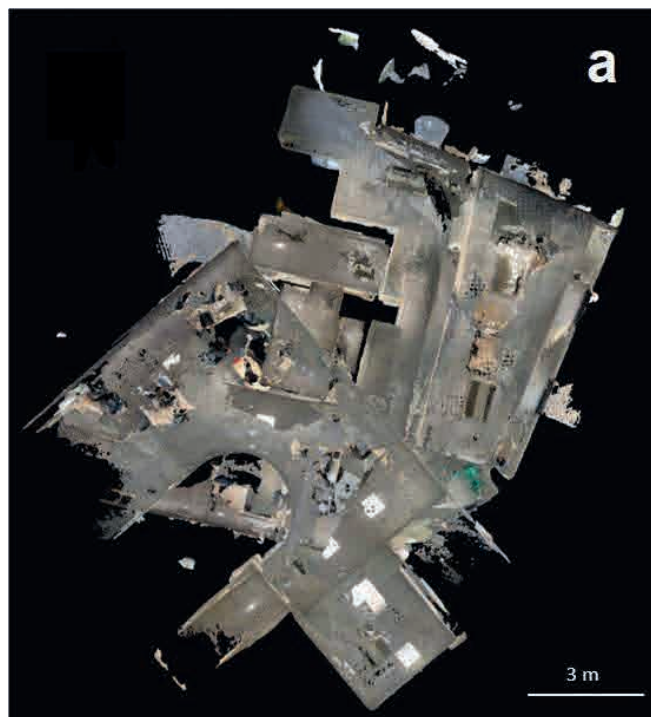


Figure 11. (a) : assemblage automatique sur SiteScape en cas d'acquisition avec un recouvrement insuffisant, (b) : assemblage manuel des mêmes nuages.

Choisir l'une de ces options SiteScape présenterait un avantage non négligeable. En effet, une fois la mise en ligne des nuages, la consolidation est directement disponible sur la plateforme. Les résultats sont téléchargeables au format RCP et les données sont ensuite prêtes à être modélisées. Passer par cette plateforme simplifie donc grandement le processus global pour la mise en œuvre de ce système d'acquisition de données. De plus, d'après le développeur, cette application présentera prochainement une version améliorée visant à utiliser *“la fermeture de boucles et une optimisation plus robuste de l'alignement global, même lorsqu'aucune boucle est présente”*. La mise en place de cette option permettrait de rendre plus robuste la consolidation et de compenser les éventuelles erreurs de suivi de l'appareil.

Conclusion et perspectives

Cette étude a donc permis de mettre en place un processus de numérisation 3D via l'iPad Pro grâce au capteur LiDAR intégré et une application dédiée. L'ensemble des tests menés a abouti à l'établissement d'un protocole d'acquisition et le domaine d'application de cette solution a été défini.

Grâce aux tests effectués, les limites de cette méthode ont été étudiées. Les résultats montrent qu'il est possible

d'adopter cette solution d'acquisition mobile aux relevés métriques d'intérieurs, à destination de l'établissement de plans de surfaces Loi Carrez. L'extraction des surfaces depuis le modèle 3D donne de bons résultats, avec un écart relatif compris dans les tolérances, de l'ordre de 1 % avec la surface mesurée par des diagnostiqueurs immobiliers ou avec la surface extraite d'une modélisation d'un nuage de points TLS. Néanmoins, pour le moment, la densité de points et le bruit observé sur le nuage ne permettent pas de généraliser cette méthode d'acquisition pour tous les types de plans. Cette solution est par exemple à proscrire pour les relevés architecturaux à l'échelle 1/50.

L'idée est donc d'industrialiser cette solution de numérisation 3D auprès des sociétés de diagnostics immobiliers. Cette solution pourrait également être adaptée à d'autres domaines, comme l'aménagement d'espaces complexes à mesurer (volumes arrondis, inaccessibles, etc.). Certaines sociétés utilisent déjà cette technologie pour la visite virtuelle d'appartements ou la visualisation de l'agencement de logements. Cependant, la méthode de numérisation présentée dans ce projet est amenée à évoluer. En effet, la progression des nouvelles technologies telles que les voitures autonomes ou la réalité augmentée pousse les capteurs et les algorithmes des appa-

reils mobiles et leurs applications à devenir de plus en plus performants. De plus, Apple a annoncé le lancement de leur application RoomPlan, destinée à dessiner un modèle 3D en temps réel lors de la numérisation de la pièce. Des progrès sont donc attendus concernant le suivi de la position de l'appareil afin d'améliorer la qualité du nuage de points. Il serait alors possible d'élargir le domaine d'application de cette méthode à d'autres secteurs, où la précision requise serait plus importante.

Remerciements

Je tiens à adresser mes remerciements à l'ensemble des personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce projet au sein de la société FUTURMAP, et en particulier à mes encadrants Florent Michels et Thibault Bavoux pour leur disponibilité et leur engagement dans cette étude. ●

Contact

Pauline CHARDON
pauline@futurmap.com

Bibliographie

Apple iPad Pro@2022 (2022). iPad Pro – Apple. URL <https://www.apple.com/fr/ipad-pro/>





Apple Newsroom@2022 (2020). Apple annonce un nouvel iPad Pro avec scanner LiDAR et la prise en charge du trackpad dans iPadOS. URL <https://www.apple.com/fr/newsroom/2020/03/apple-unveils-new-ipad-pro-with-lidar-scanner-and-trackpad-support-in-ipados/>

Medium@2022 (2020). ARKit 911 — Scene Reconstruction with a LiDAR Scanner. URL <https://medium.com/macoclock/arkit-911-scene-reconstruction-with-a-lidar-scanner-57ff0a8b247e>

SiteScape@2022 (2022). SiteScape FAQ. URL <https://www.sitescape.ai/faq>

Spreafico, A., Chiabrando, F., Teppati Losè, L. et Giulio Tonolo, F. (2021). *The iPad pro built-in LiDAR sensor: 3D rapid mapping tests and quality assessment*, Actes de conférence de l'International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Archives, vol. XLIII-B1-2021, p. 63-69, 28 juin.

TechInsights@2022 (2021). Sony d-ToF Sensor found in Apple's new LiDAR camera. URL <https://www.techinsights.com/blog/sony-d-tof-sensor-found-apples-new-lidar-camera>

YoleSystemPlus@2022 (2020). Apple iPad Pro LiDAR Module – Technology, process and cost. URL <https://www.yolegroup.com/product/report/apple-ipad-pro-lidar-module/>

ABSTRACT

Key words: iPad Pro, LiDAR, point clouds, rapid mapping, 3D metric survey, digital model, Carrez surface.

Since 2020, Apple has been adding a LiDAR sensor to its latest smartphones and tablets. Initially developed for augmented reality, its use for metric surveying is of growing interest. Considering this potential, FUTURMAP chose to carry out an in-depth analysis in collaboration with a leading group specialised in real estate diagnostics. Therefore, the objective of this graduation project is to set up a new acquisition method based on mobile LiDAR technologies to produce an indoor plan or a 3D digital model. In this project, we deepened the knowledge of this scanning device to develop a reliable data capture process. Several features were studied following a series of tests to determine the limits and the constraints of this new system.

PRIX DE L'AFT 2023

pour les jeunes ingénieur(e)s diplômé(e)s en topographie

Les étudiant(e)s des écoles d'ingénieurs sont invité(e)s à soumettre au comité de rédaction de la revue XYZ un article portant sur leur travail de fin d'études d'ingénieur(e) géomètre-topographe.

Les meilleurs articles seront récompensés et publiés dans la revue XYZ.

Un montant global de 2 000 euros est prévu en 2023, pour attribution en 2024.

Ce prix est attribué grâce à notre partenaire historique Leica Geosystems.

Conditions de participation :

- avoir obtenu le diplôme d'ingénieur dans l'année du prix ou l'année précédente ;
- joindre l'attestation du diplôme d'ingénieur(e) ;
- proposer au comité de rédaction de la revue XYZ un article de 6 pages au moins en français (environ 4 000 mots, avec mots clés et un résumé en français et anglais), en vue d'une publication dans la revue, rajouter une présentation sommaire de son parcours (résumé du curriculum vitae) incluant les adresses postale et courriel valides après la sortie de l'école et suivre les consignes aux auteurs qui sont téléchargeables sur le site de l'AFT : www.aftopo.org ;
- soumettre le texte avec une proposition de mise en page (texte / illustrations) sous format PDF et joindre en fichiers attachés le texte seul en format modifiable (DOCX ou équivalent) avec les images et illustrations aussi en fichiers séparés intégrables (JPG) en résolution de 300 dpi minimum ;
- l'article doit être proposé et rédigé par le (la) candidat(e) seul(e). L'article soumis ne peut pas faire mention de "co-auteurs". Si le (la) candidat(e) souhaite signaler un travail collectif, il (elle) ajoutera une note de remerciements introductive ou conclusive de son texte ;

- certifier que l'article n'a pas été soumis ou publié dans une autre revue ;
- la date limite pour la proposition des articles est le 31 octobre 2023 (pour les projets présentés dans les écoles cette année et les précédentes).

L'adhésion à l'AFT, dont l'abonnement à la revue XYZ, pour l'année 2024 sera offerte aux participant(e)s.

Comité d'attribution :

Le comité de rédaction de la revue XYZ, assisté du conseil de l'association, est chargé de désigner le jury d'attribution du Prix de l'AFT et son président. Ce comité pourra associer un ou plusieurs représentants d'écoles francophones. La qualité du contenu scientifique et de la rédaction de l'article sont les critères essentiels retenus.

Publication des résultats :

- les candidat(e)s seront informé(e)s individuellement des résultats au plus tard le 15 janvier 2024 ;
- les résultats du concours seront publiés dans la revue XYZ dans l'année suivant la publication des résultats ;
- le (la) président(e) du jury du prix et/ou le (la) président(e) de l'AFT remettront le ou les prix à l'occasion d'une manifestation organisée par l'AFT.

Merci de transmettre votre proposition
au (à la) président(e) du jury du prix de l'AFT,
par courriel à l'adresse suivante : [prixaft\(at\)aftopo.org](mailto:prixaft(at)aftopo.org)

