



PHOTO : VALÉRY JONCHÉRAY



Scanners laser mobiles

Les solutions récentes

Un nouveau virage pour les géomètres

Les scanners laser mobiles ont fait leur entrée dans les cabinets de géomètres-experts. Ils sont le fruit d'une longue évolution de la technologie mais ils sont unanimement salués aujourd'hui comme une avancée considérable pour ce qui concerne les levés d'intérieur, ce pour quoi ils sont d'ailleurs principalement conçus, même s'ils peuvent parfois être utilisés dans un extérieur dégagé d'obstacle. Sacs à dos, sac ventral, sur chariot, parfois tenus à la main, ils s'affranchissent du GNSS et offrent une grande simplicité d'acquisition des données. Sans oublier, pour une utilisation autre, les scanners mobiles embarqués sur un véhicule. Le temps d'acquisition s'en trouve considérablement réduit. En revanche, le temps de post-traitement est plus long et plus complexe qu'avec du matériel traditionnel, même si les logiciels du marché sont performants. L'aspect de simplicité, presque intuitif, de ces matériels ne supprime pas la nécessité de contrôles et de vérifications en matière de précision au sens où l'entendent les géomètres-experts. Le marché est en pleine croissance, car, même si les prix restent élevés, ils permettent un important gain de temps sur les chantiers.

Sous la pression des usagers et des industriels, les progrès technologiques récents ont permis aux géomètres d'effectuer des levés laser d'intérieur, sans aucun accès aux GNSS, et presque aussi facilement que lorsqu'ils les exécutent en extérieur.

MICHEL KASSER

Président des Ingénieurs géomètres de Suisse occidentale

Les lasers sont apparus il y a plus de soixante ans et, très rapidement, ont été exploités pour effectuer des mesures de distances, en particulier pour les activités des géomètres. Les premiers lasers continus utilisés (He-Ne), de faible puissance, étaient vitaux en tant que source d'une lumière extrêmement peu divergente, autorisant de très longues portées (plus de 50 km). La lumière était modulée en intensité, la distance étant calculée à partir du déphasage entre l'aller et le retour, principe désormais bien connu. Lumière également très monochromatique, permettant de retrouver la faible lumière laser rétro-réfléchie par les prismes au milieu de celle de jour ambiant, grâce à un filtrage très précis des couleurs reçues. En fait, la complexité et le coût de ces premiers appareils les réservaient à des cas très spécifiques (géodésie terrestre par exemple); leur principe de fonctionnement est resté sensiblement le même jusqu'à aujourd'hui,

les progrès technologiques les ayant depuis mis à la portée de tous.

Mais, en parallèle, des lasers capables de délivrer des impulsions courtes et très puissantes ont vu le jour et, dès 1964, on en retrouve l'usage pour mesurer des distances très longues, avec une précision réduite (le mètre). Par exemple, en géodésie spatiale, la distance avec un satellite équipé de réflecteurs, à plusieurs milliers de kilomètres. Cette technologie permettait aussi de mesurer des distances courtes (quelques kilomètres), cette fois-ci sans aucune cible coopérative. L'usage en domaine militaire était évident, et d'ailleurs sans aucune préoccupation vis-à-vis de la sécurité oculaire, d'où de nombreux accidents. Une variante a été employée, là encore dès les années soixante, dans le domaine de la photogrammétrie, avec des appareils donnant la distance avion-sol lors de l'acquisition de chaque image, permettant ensuite une aérotriangulation, calage



général de la mission, avec une stéréopréparation très réduite. Ce sont là les tout premiers scanners laser, qui seront ensuite équipés de miroirs permettant un balayage transverse, afin de couvrir une fauchée appréciable sous l'avion en un seul passage, cette fois dans le but d'obtenir directement un modèle numérique de terrain (MNT).

Nous avons là les ancêtres des scanners actuels... Il a encore fallu résoudre nombre de problématiques avant qu'ils ne puissent servir couramment au public des géomètres. Pour cela, un demi-siècle aura été nécessaire. Le point central de toutes les évolutions aura été celui de l'électronique, passant du tube électronique au transistor, puis au

circuit intégré, avec une compacité croissante permettant, en 1991, d'intégrer l'intégralité d'un canal GPS dans une puce, jusqu'à aujourd'hui plusieurs milliards de transistors élémentaires dans un processeur, et près de mille canaux dans un récepteur GNSS. Quasiment toutes les évolutions technologiques du dernier demi-siècle viennent de ce domaine ou ont été la conséquence directe de son évolution.

Pour le cas des scanners laser mobiles, quelques évolutions étaient critiques.

La sécurité oculaire

Les normes de sécurité laser (CEI-825) datent de l'année 1984 et, pour les respecter en domaine grand public, il a fallu utiliser des

puissances très faibles (et alors augmenter en conséquence la sensibilité de détection, ainsi que le diamètre de l'optique de réception, gênant la miniaturisation), ou utiliser une longueur d'onde en infrarouge moyen, vers 1,5 micromètre, qui ne pénètre pratiquement pas dans l'œil (mais alors, les détecteurs étaient peu efficaces et l'électronique de détection beaucoup plus complexe). Par chance, ce dernier domaine, pour de toutes autres raisons, a fait l'objet de progrès industriels majeurs : c'est aussi dans ces longueurs d'ondes que les fibres optiques avaient le moins d'atténuation, point d'importance essentielle pour les télécommunications à longue distance. ...



Grâce à de nouveaux dispositifs qui remplissent les fonctions d'une centrale inertielle dans une seule puce, des scanners laser mobiles ont pu être installés, d'abord sur des véhicules, puis dans des sacs à dos.

... La cadence de tir

L'apparition des diodes laser en proche infrarouge, vers 0,9 micromètre, avec un rendement élevé et donc peu de contraintes de refroidissement, a permis d'augmenter les cadences de tir jusqu'à la limite géométrique imposée par la distance mesurable, atteinte depuis peu dans les matériels disponibles (deux millions de tirs par seconde).

La précision

Il était hors de question de travailler avec une précision métrique dans les domaines du géomètre. Il a donc fallu attendre d'atteindre une résolution de quelques millimètres, donc une précision centimétrique, pour que les mesures puissent devenir attrayantes sur des chantiers courants de la profession. Ensuite, il a fallu que les industriels résolvent quantité de petits problèmes de mesure : par exemple, ceux liés à l'éblouissement subi de la détection lors du passage du faisceau sur des surfaces réfléchissantes, qui conduisait à des mesures localement aberrantes (de plusieurs décimètres !), ou encore ceux liés au traitement des situations où il y a plusieurs échos successifs, etc. Mais la précision maximale a été généralement atteinte au prix d'un ralentissement net de la cadence de tir, en effectuant des moyennes sur plusieurs mesures successives, ce qui a mécaniquement réduit d'autant le bruit gaussien des mesures.

Un système de localisation et d'orientation actif pour chaque tir laser

C'est là que les principales difficultés industrielles à résoudre ont été rencontrées. La seule solution possible est en effet de disposer d'une centrale inertielle (IMU pour *Inertial measurement unit* en anglais). Or, ce type de dispositif n'avait connu, jusqu'à la fin

des années quatre-vingt-dix, que des applications militaires, généralement très précises et extrêmement onéreuses (guidage de sous-marins, guidage de missiles, etc.). Toutefois, les progrès de la micro-électronique ont permis le développement de dispositifs mécaniques de quelques microns, utilisant les outils de fabrication des circuits intégrés, les MEMS (*Microelectromechanical systems*, ou microsystèmes électromécaniques). Des dispositifs inertiels très bon marché ont ainsi vu le jour, d'abord très peu précis (adaptés à indiquer la verticale dans un smartphone, par exemple), puis de plus en plus performants, jusqu'à permettre de remplir les fonctions d'une centrale inertielle dans une seule puce: accéléromètres, gyromètres et, accessoirement, compas magnétique et baromètre. Ces

grâce à la qualité de l'IMU embarqué. Ceci avec l'appui d'une logique de prétraitement des nuages de points par paquets, capable de contrecarrer les dérives de l'IMU sans l'aide habituelle des GNSS en extérieur.

La capacité de stocker les mesures

En atteignant des cadences de tirs aussi élevées, il a fallu aussi développer des moyens informatiques de très grandes capacités, et ce n'est que grâce aux évolutions extraordinaires observées dans ce secteur qu'il a été possible d'enregistrer les mesures obtenues à une telle vitesse, tout en les prétraitant à la volée.

Un coût acceptable

Les possibilités de regrouper une centrale inertielle avec un scanner laser et une unité de calcul très puissante existent depuis près de trois décennies, et ont été implémentées en domaine aéroporté civil (téléométrie laser aéroportée, destinée à des productions de MNT sur de très grandes surfaces, avec un équipement très onéreux), ainsi qu'en domaine militaire depuis probablement encore plus longtemps. Mais seule la démocratisation de tous les éléments matériels de la chaîne a permis d'envisager une mise sur le marché d'équipements à la portée financière d'un cabinet de géomètre-expert. Et c'est seulement quand ce prérequis a été acté que des équipes nombreuses ont travaillé sur la partie logiciel, elle aussi très complexe et exigeante. Ici, comme c'est le cas depuis toujours, la communauté technique des géomètres a tiré les bénéfices de développements grand public, qui ne lui sont destinés en rien à l'origine: les lasers, les circuits intégrés, les MEMS, l'informatique, etc. ●

Les MEMS ont été mis à profit dans les drones, dont le point critique, la stabilisation du vol, a été enfin automatisable, ouvrant la porte aux drones grand public.



MEMS ont ainsi été mis à profit dans les drones, dont le point critique, la stabilisation du vol, a été enfin automatisable, ouvrant la porte aux drones grand public. Ils ont aussi, bien évidemment, été utilisés conjointement avec des scanners laser, sous une forme aisément transportable (d'abord sur des voitures, et plus récemment dans des sacs à dos), rendant ainsi possibles des levés en intérieur. La fonction de localisation nécessaire était acquise par GNSS pour les activités en extérieur. Mais là, il devenait possible de l'obtenir, dans un repère strictement local,



Les scanners laser dans les cabinets

Le Disto de Leica a été le premier appareil laser de mesure de distances de précision millimétrique, pour un public large et non seulement pour les géomètres.

Les mesures de distances de précision millimétrique sur cibles non coopératives étaient disponibles pour les géomètres depuis la fin des années quatre-vingts (Fennel puis Wild), avec ensuite cet épisode marquant qu'a représenté le Disto de Leica, pour un public technique désormais très large. Ces matériels ont rapidement été assemblés avec un dispositif de balayage à miroir tournant ou oscillant. Mais, si leur informatique ne permettait pas des cadences élevées, ils ont tout de même permis de défricher une première approche de levés d'intérieur par acquisition de nuages de points.

De nombreux problèmes étaient en suspens, en particulier celui de l'exploitation des fichiers très volumineux de ces nuages de points acquis successivement, à relier et assembler entre eux. La plupart des clients ne savaient comment les manipuler pour en tirer la formidable quantité d'informations disponibles. Il fallait en outre organiser une polygonale entre les stations, une affaire conceptuellement classique mais passablement chronophage, sans parler des difficultés pour assembler dans un même repère les étages successifs, les façades, etc. Par ailleurs, le nettoyage des fichiers (par exemple des

reflets sur des surfaces réfléchissantes – vitres, plans d'eau, etc. – donnant des points fantômes), même avec une assistance logicielle de plus en plus poussée, restait une tâche très lourde en temps. Mais les obstacles liés à l'informatique étaient majeurs, ils étaient générateurs de prix très élevés de ces ensembles matériels-logiciels, et les développements desdits logiciels étaient encore nettement insuffisants.

En toile de fond, la formidable machine industrielle continuait son travail de développement, avec des scanners laser (à mettre en stations fixes) utilisant au mieux les développements des processeurs et des mémoires, donc de plus en plus compacts et rapides. Les prix devenant plus accessibles, de nouveaux publics ont été intéressés, en particulier dans le domaine immobilier, agents, architectes, etc. Et cette augmentation de la clientèle a permis en retour une nouvelle baisse des prix. Mais la haute technicité toujours requise pour assembler les nuages de points, nettoyer les innombrables échos parasites, et même pour simplement effectuer la polygonale et créer des points d'appui, a continué à rendre l'expertise du géomètre plus nécessaire que jamais.

...



commençaient à bénéficier de la disponibilité des levés 3D de villes entières, permettant de juger plus facilement de l'insertion d'un projet de bâtiment dans le milieu environnant. Mais, jusque-là, l'idée de gérer complètement une construction en 3D sous forme numérique, avec des couches techniques différentes formant un tout homogène, n'avait pas encore abouti.

C'est sous le nom de BIM (*Building information modeling*, pour modélisation des informations d'une construction) que ce concept a vu sa notoriété exploser depuis une décennie et, bien évidemment, ce mouvement a requis un approvisionnement gigantesque en données géométriques 3D de bâtiments existants. Une pression supplémentaire s'est donc fait jour pour faciliter les levés d'intérieur, avec toujours les deux mêmes aspects délicats : l'acquisition d'un ensemble de

LE BIM

Un élément nouveau s'est introduit dans le paysage professionnel. Par un effet de mode assez inattendu mais bienvenu, le domaine de la construction a découvert, très tardivement, que les outils SIG développés depuis trois décennies en géomatique pouvaient leur rendre de grands services, moyennant quelques adaptations mineures.

Le besoin de représentation en 3D des projets n'était pas récent, on en trouve des traces depuis de nombreux siècles pour des chantiers de prestige et pour permettre le dialogue entre architecte et décideurs, à l'image de la maquette du Duomo de Florence (ci-dessous).

D'ailleurs, les maquettes informatiques, de plus en plus souvent exigées par les décideurs et sous-produits naturels des logiciels d'architecture,

nuages de points agrégés en un seul, dans le même système de référence ; l'exploitation de cet énorme nuage résultant pour en tirer les quelques éléments géométriques pouvant intéresser tel ou tel client.

Le premier aspect s'est enrichi des développements de la photogrammétrie et des traitements des images acquises simultanément au levé laser, et exige plus que jamais une expertise de géomètre si une garantie de précision est nécessaire. Il est l'objet de travaux de recherches considérables, qui ont permis la mise au point des scanners laser mobiles. En revanche, le second volet, qui lui aussi fait l'objet de recherches très importantes, s'envisage parfois directement chez le client (architecte, par exemple). Celui-ci, dès qu'il parvient à gérer son énorme nuage de points et d'images, va l'utiliser comme une copie informatique du bâtiment, dans laquelle il pourra piocher à volonté selon les besoins du bureau d'études et les attentes, parfois changeantes, de son client, ceci sans retourner sur le site.

LE SCANNER LASER MOBILE POUR LEVÉ D'INTÉRIEUR

La dernière étape, franchie depuis quelques années grâce à toutes les nouvelles disponibilités technologiques évoquées, est celle des scanners laser mobiles utilisables sans les GNSS, donc en intérieur. Ceci exigeait de repenser entièrement l'aspect localisation par rapport aux systèmes mobiles emportés sur avions, hélicoptères ou voitures, pour lesquels les sous-ensembles GNSS et IMU étaient parfaitement complémentaires, le GNSS recalant régulièrement

La représentation 3D ne date pas d'hier dans la construction. Ici, la maquette en bois réalisée en 1420 par l'architecte Filippo Brunelleschi (1377-1446), de la coupole du dôme de la cathédrale Santa Maria del Fiore, à Florence.



MUSEO DELL'OPERA DI SANTA MARIA DEL FIORE, FLORENCE, ITALIE

(par exemple chaque seconde) la dérive de l'IMU, et l'IMU fournissant, à la très haute cadence requise par son balayage, les orientations du laser ainsi que les positions précises successives entre les acquisitions GNSS.

Sans la disponibilité du GNSS, et avec des performances IMU compatibles avec les prix envisageables pour un système complet, il a fallu imaginer d'autres solutions. Celles-ci sont venues des recherches effectuées sur les nuages de points, pour automatiser la fusion de nuages obtenus à partir de stations consécutives, en particulier l'identification d'objets homologues. Initialement, il s'agissait d'objets connus d'avance, bien souvent des sphères de diamètre connu disposées dans la scène mesurée. Mais les logiciels ont ensuite permis d'identifier d'autres éléments caractéristiques (par exemple, arêtes = intersections de plans) et de les mettre en correspondance automatiquement. Un peu comme en photogrammétrie, lorsqu'on a su automatiser la mise en correspondance de points d'intérêt entre deux images, ouvrant la porte à des quantités d'applications nouvelles depuis le début du siècle. Là, la mise en correspondance d'objets 3D levés depuis deux stations successives pouvait être grandement facilitée par une connaissance approchée des orientations relatives de ces deux stations. Et l'idée mise en œuvre ici a été que cette orientation relative pouvait être donnée par un IMU, si le temps écoulé entre les deux stations était court. En effet, il faut se souvenir que la dérive d'un IMU est plus ou moins proportionnelle au carré du temps en absence de tout recalage.

Le mécanisme retenu a donc été le suivant :

- le matériel mobile comprend un scanner laser, un IMU et un ordinateur, le tout étant intégré dans un sac-à-dos ;
- pendant une courte durée, quelques secondes, les données IMU ont encore très peu dérivé, et on assemble en un nuage unique toutes les acquisitions du scanner, en restituant pour chaque tir la position et l'orientation du scanner grâce à l'IMU ;
- on recommence un assemblage du même type sur une nouvelle période qui chevauche la précédente, ce qui fournit un nouveau nuage disposant d'une partie commune avec le précédent ;

– on procède à la fusion automatique de ces deux nuages grâce à l'identification des surfaces homologues, ce qui va produire une information essentielle, la dérive de l'IMU entre les deux nuages évoqués précédemment ;

– la procédure continue ainsi depuis un point initial connu jusqu'à un autre point connu, avec cette exigence qu'il faut aussi une orientation connue sur ces deux points ou, ce qui est suffisant, une simple orientation relative connue entre eux. Classiquement, ceci est obtenu en revenant au point de départ du levé lorsque celui-ci est terminé ;

– le logiciel va alors calculer la fermeture, tant en position qu'en orientation, et va compenser l'entièreté des mesures acquises en utilisant cette contrainte de fermeture. Le calcul intermédiaire, fait à l'avancement, fournit à l'opérateur en temps réel des éléments approchés de son levé, et lui permet de vérifier si tout se passe bien, par exemple s'il n'y a pas une zone qui n'est pas levée, s'il a bien tenu compte des obstructions, et aussi tout simplement si l'ensemble du matériel fonctionne correctement ;

– un post-traitement permettra d'affiner le calcul d'ensemble, par exemple en y introduisant des nouveaux points d'appui. Et il fournira les éléments de qualité géométrique classiques dans les compensations, permettant d'estimer la précision obtenue.

On retrouve dans cette démarche une situation très similaire à celle de la photogrammétrie moderne, mais avec des avantages et inconvénients très différents : en photogrammétrie, un matériel très économique mais pas d'information en temps réel et d'aide à l'acquisition (vérification que toutes les zones sont vues en stéréoscopie), et contrôle de la qualité uniquement lors des calculs au bureau.

Les matériels mis actuellement sur le marché permettent donc de faciliter considérablement les levés d'intérieur, même s'ils restent onéreux et si le travail résultant nécessite une technicité très poussée (lire le retour d'expérience d'un cabinet de géomètre-expert sur l'utilisation pratique d'un « *backpack* », page 42).

Il est raisonnable d'espérer que le marché pour ce type d'activité restera important pendant encore longtemps, tant les politiques de rénovation des bâtiments existants semblent d'actualité, au moins pour les aspects thermiques. ●

Il est raisonnable d'espérer que le marché pour ce type d'activité restera important pendant encore longtemps.



Un marché en croissance

Le marché de la cartographie mobile d'intérieur attire désormais de nombreux fabricants, qu'il s'agisse de sociétés innovantes ou spécialistes reconnus de la topographie ou de la numérisation 3D. La configuration sac à dos a le vent en poupe, mais les systèmes portatifs ou sur chariots n'ont pas dit leur dernier mot.

MARIELLE MAYO

Initialement développée afin de favoriser le repérage dans l'espace et la navigation de robots ou de véhicules autonomes, la technologie Slam (*Simultaneous localization and mapping* : cartographie et localisation simultanées) est de plus en plus utilisée pour les applications de cartographie mobile. Si le coût des équipements constitue parfois encore un frein, le marché est en pleine croissance, et propose désormais des solutions qui s'adaptent à de nombreux besoins. Considérée comme une technologie de rupture au début des années 2010, la méthode Slam est ainsi incluse dans une offre diversifiée de systèmes d'acquisition dynamique, qui fonctionnent sur des sites où la réception des signaux GNSS est mauvaise ou nulle et s'utilisent de façon privilégiée en intérieur.

Les premiers systèmes IMMS (*indoor mobile mapping system*) ont été introduits par des sociétés innovantes comme le français Viamétris, qui a développé à partir de 2011 un premier système poussé sur un chariot, adapté aux problématiques de gestion de patrimoine ou de copropriété, ou encore l'anglais Geoslam, qui a lancé la même année un système portatif à main. Les premiers systèmes *backpack*, intégrés à un sac à dos, sont apparus en 2015 avec le Pegasus Backpack de Leica Geosystems. Au fil des ans, de nombreux fabricants ont proposé leurs solutions Slam sur le marché international. Des chercheurs du National Land Survey de Finlande, de l'université de Twente (Pays-Bas), de l'université de Californie ou encore de l'université chinoise de Shandong ont aussi développé leurs propres prototypes.

Par rapport aux scanners laser 3D fixes, ces IMMS, bien que de précision moindre, ne sont pas sans atouts : faciles à mettre en œuvre, ils permettent une numérisation rapide et offrent un gain de temps important, surtout lorsqu'il s'agit de couvrir de grands espaces. Les algorithmes Slam utilisent les

données enregistrées par plusieurs types de capteurs tels qu'un Lidar 2D ou 3D, une unité de mesure inertielle (IMU), une ou plusieurs caméras, panoramiques ou non. De nombreux systèmes intègrent par ailleurs un récepteur GNSS. En fonction de leur précision, de leur portée, ou encore de la densité de points, certains matériels seront ainsi plus ou moins appropriés pour différents types d'applications en intérieur (gestion de patrimoine, BIM, projets de rénovation, visites immersives, exploitation minière, etc.), mais aussi bien souvent en extérieur, par exemple en foresterie ou pour la numérisation des environnements urbains.

Ces systèmes représentent un budget conséquent, de l'ordre de 30 000 à 100 000 euros ou même davantage. Les plus performants représentent un lourd investissement, mais peuvent aussi offrir une polyvalence permettant une meilleure rentabilisation. Le choix du matériel résulte donc d'un compromis entre performances attendues, usages projetés et budget disponible. Si les systèmes *backpack* ont fait une belle percée dans les cabinets de géomètres-experts, les systèmes portatifs à main et ceux fixés sur chariot (*trolley*) peuvent constituer une alternative intéressante. La possibilité d'utiliser le scanner 3D utilisable dans d'autres configurations, par exemple sur véhicule, constitue également un plus.

LES SYSTÈMES DE TYPE BACKPACK

Permettant l'acquisition de données avec une vitesse de déplacement allant jusqu'à 20 km/h, les solutions sac à dos ont connu un large essor ces dernières années. Elles offrent une bonne

stabilité grâce à la hauteur constante du sac à dos, et sont moins fatigantes pour l'opérateur que les systèmes « à main », ce





qui permet des numérisations de plus longue durée. Malgré des itinéraires contraints qui peuvent paraître chronophages, avec en particulier la nécessité fréquente de « fermer la boucle » pour éviter des dérives trop importantes, la réduction du temps passé sur le terrain et l'accroissement du rendement sont indéniables. Ces systèmes s'avèrent particulièrement séduisants pour la numérisation de grands espaces intérieurs (aéroports, galeries commerciales, industrie...), mais aussi d'espaces extérieurs difficilement accessibles aux véhicules, application mise en avant par certains constructeurs comme Geoslam, qui dédie son système Zeb Discovery principalement à la cartographie urbaine.

Comme le Leica Pegasus Backpack, la plupart des modèles sont équipés d'un ou deux capteurs Lidar de la marque Velodyne, avec des vitesses d'acquisition atteignant jusqu'à 700 000 points/seconde. Quelques-uns sont multiplateforme. Ainsi, le système mobile de Geoslam utilise un scanner Zeb Horizon, qui passe aisément d'un véhicule automobile à la solution sac à dos, une stratégie adoptée également par le Chinois CHC Nav pour sa gamme Lidar AlphaUni et par l'Italien Gexcel pour son modèle haut de gamme Heron MS Twin. Autre critère distinctif, le nombre, la nature et la résolution des capteurs photos. Par ailleurs, si tous les fabricants proposent des configurations avec GNSS, il est en option pour le système bMS3D de Viamétris et absent des modèles les plus basiques des gammes LiBackpack de l'Américain Green Valley International ou Heron de Gexcel. Enfin, les performances des algorithmes, la densité de points, la précision et le bruit des données varient d'un matériel à l'autre.

QUELLES ALTERNATIVES ?

Système portable NavVis VLX

Introduit fin 2020, ce système développé par l'Allemand NavVis, comparable aux systèmes *backpack*, offre un design unique en son genre, puisqu'il se présente comme une sorte de harnais, avec des capteurs positionnés à l'avant et au-dessus de l'opérateur. Compact et repliable pour le transport, il embarque deux Lidar Velodyne PuckLite et quatre caméras 20 MPx couvrant un champ de vision complet à 360°. Il est par ailleurs compatible avec des points de contrôle au sol et au mur.



Systèmes mobiles « trolley »

Par rapport aux systèmes sac à dos, ces solutions « indoor » présentent certains inconvénients. Le matériel est encombrant et doit être transporté en fourgonnette avant d'être assemblé sur place. L'acquisition du nuage de points est aussi moins rapide et le franchissement d'obstacles reste difficile, même si les pentes sont désormais mieux gérées. Toutefois, la faible maniabilité des chariots est compensée par l'amélioration de la stabilité ainsi que par des associations performantes de capteurs. De fait, ils offrent une haute qualité des nuages de points, avec une densité de points élevée et un faible bruit des données, la colorimétrie étant aussi très bonne, et constituent une option intéressante pour les applications BIM.



Les fabricants historiques de ces systèmes – Viamétris avec son iMS 3D, NavVis avec son modèle M6... – ont continué de les améliorer.

Depuis peu, le système Faro Swift, qui offre une vitesse de scan jusqu'à 1 million de points/seconde, est également sur le marché. Il associe sur un chariot les scanners laser FocusS et ScanPlan du constructeur, combinés avec l'algorithme Slam du logiciel Faro

Scene. En y mettant le prix, on peut donc miser sur les mêmes technologies pour des acquisitions fixes ou dynamiques.

Systèmes portatifs « à main »

Généralement, ils utilisent un nombre de capteurs réduits (tête Lidar rotative, IMU et parfois imagerie) et sont dépourvus de GNSS. La rapidité de l'acquisition est similaire à celle offerte par les systèmes *backpack*. Geoslam (gamme Zeb), Gexcel (gamme Heron Lite) ou encore Leica Geosystems (BLK2Go) proposent ainsi des systèmes de prise en main facile, qui constituent des solutions économiques et opérationnelles pour certaines applications de niche : gestion immobilière, BIM... L'Américain Kaarta, lui, a opté pour une autre stratégie. Son système



Stencil Pro, qui intègre un récepteur GNSS, offre des performances comparables à celles des solutions sac à dos. Utilisé sur canne en intérieur, il pourra aussi être fixé sur un véhicule pour des numérisations en extérieur. ●

UN CABINET, UN BACKPACK...



B. HOUDRY

Un cabinet de géomètre-expert qui utilise, sur certains de ses chantiers, un *backpack* depuis plusieurs années : l'idéal pour évaluer les qualités et les points à améliorer sur ce type de matériel. Retour d'expérience.

BENOÎT HOUDRY

Géomètre-expert, ingénieur ESGT

MÉTHODOLOGIES

Utilisation « classique » en extérieur

A chaque utilisation, une initialisation du *backpack* est nécessaire. Elle est à la fois statique et dynamique et elle doit être réalisée à un endroit dégagé qui présente le moins de masques possibles aux mesures GNSS.

Cette étape est très importante : elle permet d'aligner la centrale inertielle et l'antenne GNSS. Si cette manipulation est erronée, l'acquisition entière est compromise.

Cette étape doit être renouvelée à la fin de l'acquisition (à un endroit qui peut être différent, du moment que les conditions requises sont respectées).

Durant l'acquisition, il faut toujours veiller à marcher en avançant, sans jamais faire de marche arrière, tout en évitant les rotations sur soi-même et les déplacements en crabe. L'opérateur ne bénéficie donc pas d'une grande liberté de mouvements.

Dans les zones où la réception GNSS est insuffisante, il faut prévoir des points de calage pour corriger la trajectoire (cibles,

Matériel

Pegasus backpack de Leica Geosystems. Capteurs embarqués : 2 Lidars, 5 appareils photos, une antenne GNSS et une centrale inertielle.

Seul le Lidar vertical est vraiment utilisé pour le rendu, le Lidar horizontal sert avant tout pour la calibration du système (faite par le fabricant). Les Lidars sont des Velodyne VLP16 (soit 16 faisceaux) et ont une portée de 50 m.

Le backpack est équipé de 5 caméras calibrées mais indépendantes, ce qui peut engendrer des raccords lors de la génération de panoramas. En revanche, cela assure une bonne

colorisation du nuage de points.

Tout est embarqué dans le sac à dos, la tablette utilisée pour le piloter ne sert que d'écran au PC embarqué par le système.

Le dispositif pèse 15 kg avec les batteries, ce qui peut être fatigant. La boîte de transport est assez encombrante.

Logiciel

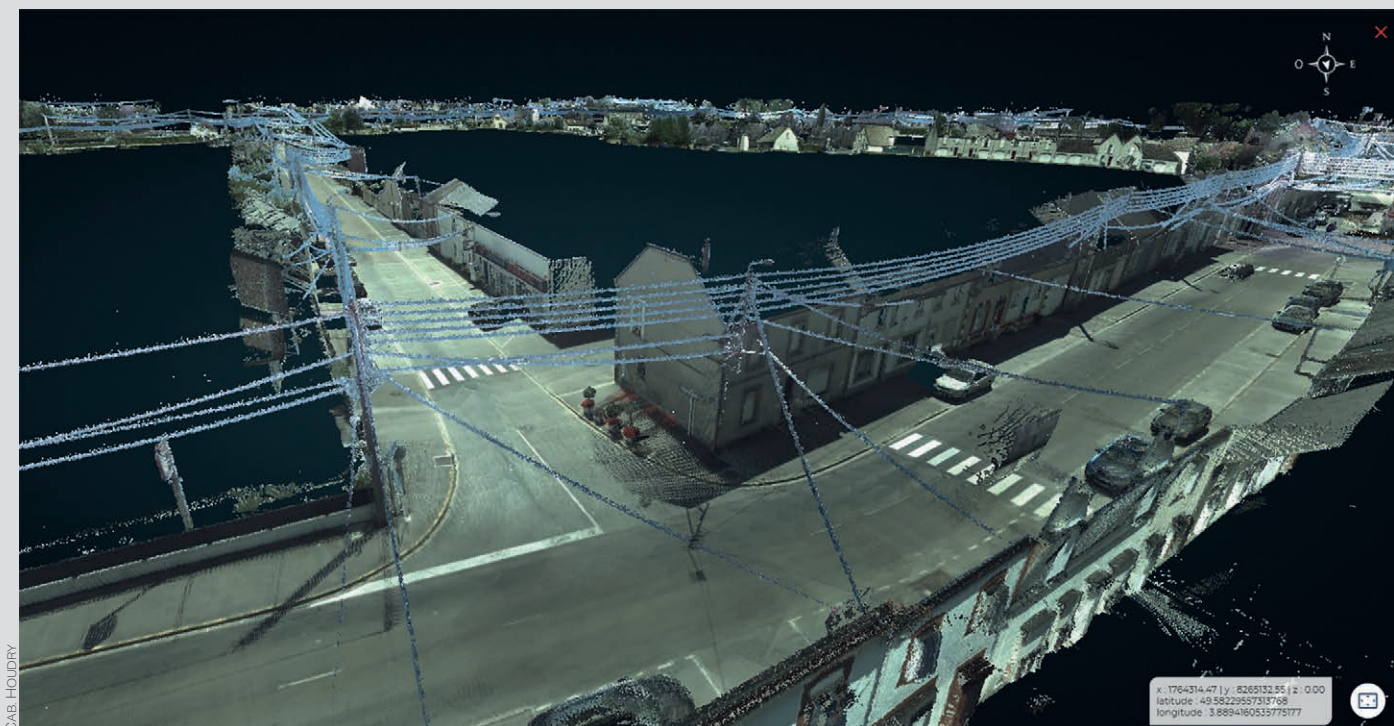
Le logiciel utilisé pour le traitement des données est Pegasus Manager. Il est commun aux solutions voiture et backpack de Leica.

Le soft est couplé au logiciel Intertial Explorer de la société Novatel pour les calculs et pour les ajustements de

trajectoire. Une formation solide est indispensable pour maîtriser le logiciel et pour comprendre le principe de calcul. Leica Geosystems assure sur ce point un suivi de grande qualité.

Comme pour les scanners statiques, il n'est possible ni de traiter les données brutes ni de faire les calculs avec un autre logiciel.

Le logiciel est vraiment complet : qu'il s'agisse d'acquisition Slam (*Simultaneous localization and mapping*) ou extérieure, il est possible d'accéder à différents paramètres qui permettent la correction et l'ajustement de la trajectoire. Ce n'est pas une solution boîte noire.



CABE HOUDRY

Nuage de points issu d'un levé effectué avec le backpack en extérieur, type « corps de rue ».

points identifiables sur le nuage, marques de peintures au sol...). La densité et la répartition de ces points vont dépendre de l'étendue de la zone où un ajustement sera nécessaire. Même en zone dégagée, il est préférable de positionner des points connus qui pourront servir de contrôle.

L'antenne GNSS n'est pas connectable à un réseau permanent, le calcul des observations se fait toujours par post-traitement. Il faut donc prévoir un pivot ⁽¹⁾ dans un rayon de 10 km autour de la zone relevée.

Quand la localisation géographique du chantier le permet, il est aussi possible de récupérer librement les observations des antennes du RGP (réseau GNSS permanent) de l'IGN.

Utilisation intérieure – Slam (*Simultaneous localization and mapping*)

Comme en utilisation extérieure, une initialisation est nécessaire : le *backpack* doit être positionné au sol le temps de sa mise en route (deux minutes). Cette position devra être la même lors de l'initialisation de fin.

Quelle que soit la longueur de l'acquisition, il faut toujours revenir au point de départ : dans tous les cas, il faut boucler la trajectoire.

Comme pour le levé d'extérieur, la liberté de mouvement est très restreinte : pas de rotation, pas de marche en crabe et surtout pas de marche arrière.

Il faut aussi noter l'obligation de faire des positions immobiles de vingt secondes toutes les deux minutes durant l'acquisition. Des temps d'arrêts sont à opérer en début et en fin de rampes ou d'escaliers.

Cette méthodologie peut sembler contraignante si on la compare à d'autres appareils qui existent et qui offrent davantage de liberté, mais elle permet de réaliser de longues acquisitions et de garantir des résultats cohérents.

Utilisation mixte – FuseSlam

Le FuseSlam est un terme propre à Leica Geosystems. Cette méthode permet de coupler des acquisitions extérieure et intérieure : on passe sur du Slam pour faire de l'intérieur et on ressort pour récupérer une position GNSS.

C'est une technique intéressante mais elle impose d'avoir une très bonne réception GNSS avant et après la bascule sur le Slam. Sinon, il faut prévoir des points de calage.

La bascule ne se fait pas sur le terrain mais au moment du calcul : l'opérateur choisit à quel moment appliquer le Slam.

PRÉCISION ET RENDU

La précision relative donnée par le constructeur est de l'ordre de 2 à 3 cm. Grâce aux tests et aux acquisitions que nous avons réalisés, nous confirmons cette valeur. Plusieurs paramètres entrent en compte : un des plus significatifs est l'épaisseur du bruit du nuage, qui peut atteindre 2 cm.

Pour gagner en cohérence dans le traitement des données, il est conseillé de prendre des points toujours au même endroit sur le bruit du nuage.

L'utilisation d'un logiciel qui permet de travailler en coupe sur le nuage est à ce titre assez intéressant.

En intérieur, la précision est de l'ordre de 5 cm. Le bruit du nuage est plus important. Cependant, pour être le plus proche possible de la réalité lors de la prise de points ou de mesures, il ne faut pas partir de l'axe du bruit mais du premier tiers du bruit en partant du sac à dos (conseillée par Leica, cette méthode a été contrôlée et confirmée par le cabinet).

Les rendus sont identiques à ceux d'un scanner statique : nous obtenons un nuage de points (colorisé en couleurs réelles et en retour d'intensité) et des photos panoramiques. Ces ...



DOCUMENTS : CAB. HOUDRY

Le cabinet Houdry a utilisé le *backpack* dans le cadre d'une demande d'inventaire de surfaces intérieures et extérieures d'un bâtiment d'Air France sur l'aéroport de Roissy. Le site fait une surface totale de 3,4 ha dont 9 280 m² d'intérieur. L'ensemble a été mesuré en une journée et demie et tous les modes du Backpack Leica Pegasus – extérieur, Slam et FuseSlam – ont été utilisés sur ce dossier. Le cabinet étant déjà intervenu sur ce site, il disposait d'éléments de contrôle qui lui ont permis de valider les mesures réalisées.

••• dernières sont d'assez bonne qualité, mais il arrive parfois de distinguer les raccords entre les 5 caméras. Cependant, elles ne sont pas à 360°, seuls les deux tiers d'une sphère sont couverts.

Aujourd'hui, il est facile de partager ces rendus avec nos clients : différentes solutions sont possibles, comme utiliser un format d'échange (LAS, E57, LGS) et fournir le *viewer* associé ou mettre les données en ligne sur une plateforme de visualisation (type E-Cassini).

CAS D'UTILISATION

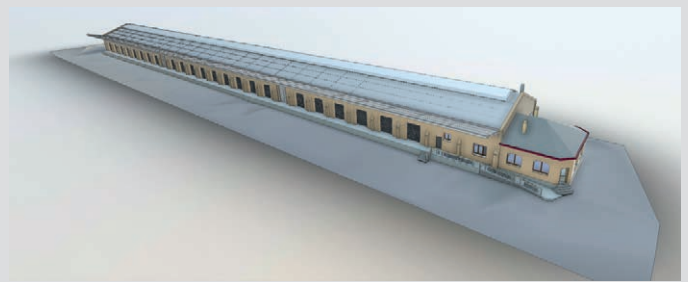
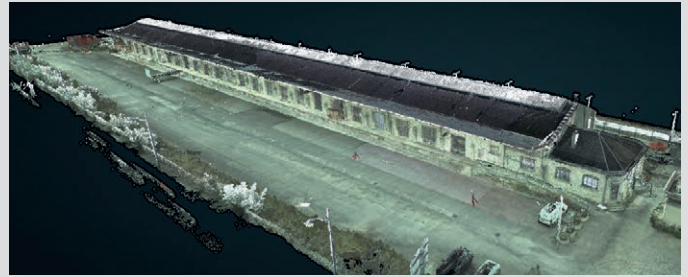
En extérieur, le *backpack* est adapté pour les levés topographiques de grandes surfaces ou de grands linéaires avec un besoin d'exhaustivité. Sans compter le temps de mise en place de points de calage et de contrôle, le rendement journalier est de l'ordre de 5 à 6 km pour une acquisition à pied.

Il est possible d'utiliser le *backpack* avec un moyen de locomotion électrique, ce qui permet d'accroître le rendement et d'atteindre facilement les 10 km par jour.

Aujourd'hui, c'est le mode d'acquisition que nous privilégions pour les chantiers d'une longueur supérieure à 700 m linéaires.

En intérieur, son utilisation est satisfaisante dans des bâtiments de surfaces importantes pour la réalisation de plans de surfaces, de plans d'intérieurs au 1/100 ou de modélisations simples. L'atout principal est l'exhaustivité du levé et le rendement. Il ne faut toutefois pas oublier la précision demandée par le client, ce qui peut amener à choisir une autre solution d'acquisition.

En revanche, ce matériel n'est pas adapté pour des plans d'architecture au 1/50.



Modélisation 3D d'un bâtiment, également à l'aide du Backpack Leica Pegasus : le nuage de points ; la maquette réalisée.

On peut reprocher au *backpack* d'être un peu lourd, de nécessiter une méthodologie contraignante et d'être d'utilisation complexe, notamment pour le logiciel de traitement, mais ce matériel permet de traiter de nombreux chantiers. Le plus appréciable est d'avoir la main sur quasiment toutes les étapes du calcul de trajectoires, ce qui permet d'apprécier la qualité des relevés réalisés.

Quelques points négatifs sont à souligner. Le contrôle de la qualité de l'acquisition ne peut se faire qu'au bureau, aucune vérification n'est réellement possible durant la phase de terrain. Une entorse à la méthodologie sur le terrain peut avoir de lourdes conséquences sur la précision et sur la cohérence des données. Même si les possibilités d'ajustement et de correction offertes par Pegasus Manager sont nombreuses, une nouvelle acquisition peut être nécessaire pour garantir la fiabilité du travail. Enfin, le stockage des données est un facteur limitant : à titre d'exemple, pour un chantier d'un kilomètre en milieu semi-urbain, les données finales dépassent 35 Go (répertoire Pegasus, nuages au format .las et images panoramiques au format .jpg).

Pour le traitement des acquisitions, plusieurs solutions sont possibles :

- coupler Pegasus Manager à un logiciel de DAO, pour ne pas générer de nouveaux fichiers, donc ainsi gagner en temps machine et en espace de stockage ;
- exporter les données nuages et images vers un autre logiciel, ce qui nécessite un export supplémentaire des données mais permet d'utiliser des fonctionnalités de dessin propres au logiciel utilisé.

Il y a quelques années, avec l'utilisation de tablette couplée à un tachéomètre, une partie du travail de bureau se faisait sur le terrain. Aujourd'hui, la tendance s'inverse : une partie du travail de terrain se fait au bureau. ●

(1) Pour éviter le vol de matériel, le cabinet utilise des pivots virtuels. Ce service est proposé par plusieurs sociétés : Teria, Leica Geosystems via son réseau SmartNet (Orphéon), la société FB Solutions...

EN COMPLÉMENT DES APPAREILS CLASSIQUES

« *Un scanner dynamique, c'est indiscutablement l'avenir!* » Presque un cri du cœur pour Patrice Faugier, géomètre-expert, qui n'en soulève pas moins les limites et les failles.

L'investissement est de taille, de l'ordre de 150 000 euros, à tel point qu'il a été réalisé, il y a trois ans, en partenariat avec un autre cabinet. Patrice Faugier, géomètre-expert (cabinet Géolis, vingt salariés sur quatre sites et trois permanences), ne le regrette visiblement pas. « *Au regard des conditions des levés d'intérieur actuellement, nous ne sommes plus compétitifs avec les procédés classiques. Les scanners dynamiques nous permettent de lever 400 à 500 m² en une heure contre 200 auparavant. C'est donc rentable, même si ce type d'équipement n'est intéressant qu'en intérieur et inutilisable pour d'autres chantiers.* » La décision a d'ailleurs été mûrement réfléchie, le cabinet ayant fait des tests grandeur nature sur un levé avec un scanner dynamique, ou mobile selon les définitions, et avec une procédure classique. « *Le résultat était concluant.* »

Comme d'autres utilisateurs, le géomètre-expert met en avant la diminution du poids, de l'encombrement et plus encore la maniabilité de ce type de matériel. « *Sur le terrain, c'est presque ludique; l'apprentissage de l'acquisition des données est très simple. Il y a bien entendu certains techniciens qui n'aiment pas changer de méthode mais d'autres, un peu plus geek, sont enthousiastes.* »

L'utilisation d'un scanner dynamique permet d'acquérir un maximum de données en un minimum de temps, ce qui est un avantage indiscutable pour des levés d'intérieur, ce pourquoi ce matériel est d'ailleurs conçu. Patrice Faugier souligne deux avantages immédiats sur un levé avec ce type de scanner. Tout d'abord, l'acquisition des données est simple à effectuer mais surtout elle est complète. « *Nous sommes sûrs de tout avoir dans le nuage de points et sûrs que le scanner va nous donner un levé exhaustif. Sur le chantier, le technicien ne se pose plus la question de savoir s'il a oublié quelque chose, omis une information. Même s'il n'a pas tout vu de lui-même, le scanner l'a enregistré et, dans le post-traitement, toutes les informations seront présentes et utilisables.* ». L'autre avantage est de nature plus commerciale. « *L'acquisition du nuage de points nous permet de dire à notre client, par exemple un architecte, que, s'il souhaite un autre plan, une autre coupe, nous avons toutes les données et que c'est réalisable très vite, sans avoir besoin de retourner sur le chantier.* »

Tout n'est cependant pas pour le mieux dans le meilleur des mondes, car, si l'acquisition de la donnée est un atout incomparable grâce à son ampleur et à sa simplicité, son traitement soulève quand même des interrogations. « *Nos fournisseurs nous*

promettent énormément de données en un temps record en acquisition sur le terrain, mais le temps de traitement au cabinet est en augmentation. Cela nécessite de la 3D, un véritable exercice intellectuel pour l'assemblage des points, le géoréférencement, la mise en configuration pour le dessin... »

La vraie question est la qualité du nuage de points. « *Dans l'absolu, il faut vraiment pouvoir assurer le positionnement du nuage par un géoréférencement de qualité* », précise Patrice Faugier. Les méthodes classiques ne sont donc pas pour autant abandonnées. « *Je fais l'extérieur du bâtiment avec un tachéomètre afin d'avoir un géoréférencement fiable et l'intérieur avec un scanner dynamique.* » Le géomètre-expert estime qu'il reste possible de garantir la même précision qu'au préalable, avec des méthodes plus classiques. A la condition quand même que « *le process d'acquisition soit respecté, notamment pour des levés d'intérieur complexes. Mais il faut quand même savoir utiliser le tachéomètre pour prendre les quatre points extérieurs du bâtiment* ».

« N'oublions pas la précision ! »

Reste ensuite le traitement au cabinet. « *Nous avons eu beaucoup plus de mal. Au départ, nous avons même perdu du temps et de l'argent pour que nos collaborateurs acquièrent de l'expérience. Car, avec les logiciels utilisés, il faut de la récurrence dans les travaux afin de bien les maîtriser.* » Le géomètre-expert estime que les vendeurs de logiciels proposent des produits « *simples et compatibles avec nos exigences de précision* » mais reste plus dubitatif quant au nuage de points si facilement acquis.

« *J'ai toujours la même crainte; il faut beaucoup de recul et un regard critique sur les nuages de points et ne pas hésiter à mettre en place des procédures de contrôle, car nous sommes un peu démunis face à ces appareils de mesure* », souligne-t-il. D'autant que « *ces appareils vont devenir des monstres de technologie. Le géomètre-expert doit se demander si c'est compatible avec les exigences de sa profession. Car le scanner dynamique, c'est esthétique, plaisant, bien pour le client mais n'oublions pas la précision!* » Il faut aussi en permanence vérifier et revérifier lors du traitement de la donnée. « *Le technicien doit par exemple s'inquiéter lorsque deux murs ne sont pas parallèles: une réalité terrain ou un problème dans le traitement du logiciel?* »

Quelles conclusions tirer de cette expérience d'un cabinet de géomètre-expert dans l'utilisation d'un scanner mobile? Pour Patrice Faugier, il y en a plusieurs: « *Comme outil pour des levés et des plans d'intérieur, il est indispensable. Mais il ne fait pas tout. Il vient compléter une gamme d'appareils pour aboutir à un travail de qualité* »; « *En respectant les process, la précision peut être garantie* »; « *Le scanner dynamique, c'est indiscutablement l'avenir* ». ●

S'ADAPTER À LA DEMANDE DU CLIENT

La précision, ou le manque de précision, de la mesure d'un scanner mobile est mise en avant par de nombreux géomètres-experts. Renan Nivelet ne le nie pas mais relativise. Témoignage.

Se présentant lui-même comme « jeune géomètre-expert », Renan Nivelet (cabinet Lanquetin & associés à Asnières-sur-Seine, dans les Hauts-de-Seine, deux géomètres-experts, onze collaborateurs) a une approche très pragmatique de cette nouvelle technologie qu'est le scanner mobile. Le cabinet s'est équipé en 2015 (presque un précurseur) d'un Zeb-Révo de Géoslam, un scanner mobile tenu à la main, souvent dénommé « Zébulon » (car il tourne sur lui-même). Le cabinet est bien connu pour sa grande réceptivité aux évolutions technologiques.

Quel est donc l'apport d'un scanner mobile ? « Avant de s'équiper, le cabinet a effectué un test grandeur nature sur ses

propres bureaux avec un scanner fixe et un scanner dynamique. Résultat, les cotes obtenues étaient les mêmes à 1 ou 2 cm près. Compte tenu du fait que la vitesse d'acquisition est beaucoup plus rapide (trois heures sur le terrain contre une journée), la décision de l'investissement a vite été prise », explique Renan Nivelet. Il est d'ailleurs à noter que ce type de test semble une constante chez les géomètres-experts, qui ne cèdent pas facilement aux sirènes des commerciaux. D'autres utilisent même une station totale voire un théodolite face au scanner mobile.

L'investissement ? « Ce n'est pas spécialement cher pour un matériel incroyable, d'un très bon rapport qualité-prix. En 15 min, nous réalisons le levé d'un appartement de 200 m² en ne dérangeant quasiment pas l'occupant. Si nous prenons l'investissement, de l'ordre de 50 000 euros, ce n'est pas cher en tenant compte que le technicien passe beaucoup moins de temps sur le terrain qu'avec un scanner fixe et moins encore qu'avec un autre type de matériel. » A tel point, s'amuse-t-il que le client trouve que la prestation est onéreuse pour quinze minutes de levé. « Il faut lui expliquer le travail qu'il y a derrière »...

« Si l'algorithme s'améliore, tout sera parfait »

Inévitablement, se pose la question de la précision du levé. « Je pars du principe de savoir, en fonction du dossier du client, quelle est sa demande de précision. Souvent lui-même ne le sait pas ; c'est au géomètre-expert à la déterminer. S'il s'agit, pour le client, de déterminer la surface d'un plateau de bureaux pour une vente, qu'il y ait 2 cm d'écart n'a pas d'importance, le millimètre n'a pas de sens. Auquel cas, l'utilisation du scanner mobile est justifiée. »

Renan Nivelet modère cependant ses propos : « Je n'ai pas confiance à 100 % en ce matériel ; il faut en connaître les plus et les moins et trouver la bonne solution pour chaque chantier. S'il y a besoin d'une grande précision, par exemple pour une surélévation d'immeuble, je ne l'utilise pas. »

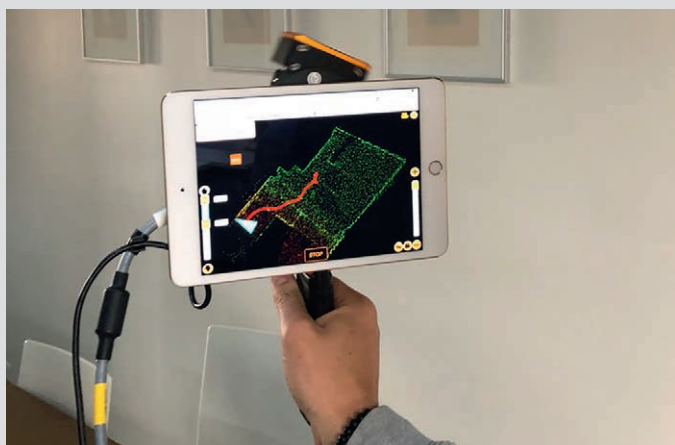
Pour les travaux nécessitant davantage de précision, « nous avons deux scanners qui nous permettent une précision à quelques millimètres, pour des chantiers tels que des plans de façade, des coupes, des projets architecturaux, des opérations de surélévation... Notre Zeb-Révo prend des points jusqu'à 25 m. Un nouveau modèle va même plus loin. Mais nous faisons beaucoup plus de levés d'intérieur que d'extérieur ».

Le cabinet a recruté une personne qui a très vite su utiliser ce scanner mobile, quasiment sans formation. Les collaborateurs ont vite été tous convaincus, même si au départ il y a eu quelques réticences.

Qu'en est-il du post-traitement au cabinet ? Renan Nivelet se démarque de beaucoup de ses confrères et estime que ce n'est



Nicolas, au départ sans formation technique, a vite maîtrisé l'outil.



pas un souci. « *Cela reste rapide, l'algorithme de calcul recalcul petit à petit les points acquis en marchant. En fait, tout dépend aussi de la méthode du levé. Il ne faut pas marcher n'importe comment. En respectant les consignes du fabricant, les levés sont bons et, une fois arrivés au cabinet, nous pouvons immédiatement dessiner les plans. C'est vraiment l'idéal si la demande du client se limite à ça.* » Il ajoute quand même que « *si l'algorithme s'améliore, tout sera parfait* ». Au cabinet, tout est recalculé. Certes, c'est plus difficile lorsqu'il faut mixer des éléments recueillis avec un scanner dynamique et un scanner fixe mais, globalement, le jeune géomètre-expert ne souligne pas de problèmes particuliers. « *A force d'expérience, nous avons de moins en moins de souci en post-traitement. Cela peut certes arriver, mais justement, avec cette expérience, nous trouvons toujours des solutions.* »

« *L'appareil en lui-même se comporte bien. Certes, le recalcul peut apporter une petite imprécision sur les grandes surfaces. Mais, sur une centaine de mètres de long, nous pouvons avoir 0,1° ou 1 mm par pièce. Même si, au total, nous avons 10 à 15 cm d'imprécision, est-ce vraiment important au regard de la demande, et de l'utilisation de notre travail, du plan qui nous est demandé ? En réalité, il faut d'abord réfléchir à notre mission. Nous n'utilisons le Zeb-Revo que sur la moitié de nos chantiers. S'il s'agit de locaux à vendre, donc juste un problème de surface, il nous fait gagner du temps et de l'argent, ainsi qu'à notre client. Evidemment, s'il s'agit d'une mise en copropriété, il faut une représentation drastique et, là, la précision est primordiale.* »

L'approche est certes rationnelle sur un plan économique, elle va cependant interpeller nombre de géomètres-experts. Mais Renan Nivelet l'assume. « *Je n'étais pas géomètre-expert il y a dix ans. Mais, quand je compare les résultats obtenus avec les vieux plans, je ne suis pas sûr que le travail d'hier était meilleur. Les pièces avec des arrondis, des angles, des placards... Là, déjà, les 2 cm étaient largement présents !* »

« *Les plans d'il y a vingt ans, que je compare aujourd'hui avec ceux que nous obtenons, me permettent vraiment de voir la différence ! Quand nous parlons de précision, d'anciens documents m'apparaissent bien peu précis !* » Et de conclure que « *les géomètres-experts sont très attachés à la précision, mais il faut aussi comprendre la demande du client. La précision extrême est possible mais c'est très cher. Ce qui est important, c'est ce que nous faisons derrière l'acquisition de la donnée. C'est notre expertise. Mais c'était déjà le cas il y a plusieurs années. Il ne faut pas avoir peur des nouvelles technologies, il faut les adopter* ». ●

L'avis de l'OGÉ

En 2019, la commission techniques de la mesure mise en place au sein de l'Ordre des géomètres-experts, présidée par Bertrand Clergeot, a publié un guide technique (*Quelle technologie pour quels usages et quelle précision ?*) recensant les différentes méthodes et technologies utilisables. Pour les scanners mobiles utilisés en marchant, ce guide annonçait « *à titre indicatif* » une précision de 3 à 4 cm sur une surface de 3 000 m² acquise en une heure.

Mode opératoire

Sur le terrain, il existe plusieurs méthodologies fonction de la technologie utilisée. Il convient de bien connaître les points faibles des algorithmes de calculs de ces méthodologies ainsi que les limites techniques du système utilisé. La méthodologie se consolide sur la base des retours d'expérience, et des contrôles réalisés. De manière générale :

- une acquisition correspond au calcul d'une trajectoire fermée ;
 - suivant l'ampleur de la zone à relever, il faut réaliser plusieurs acquisitions ;
 - il est nécessaire de favoriser la redondance des données, le recouvrement (aller-retour, cheminement croisé) ;
 - les données obtenues sont corrigées et géoréférencées sur la base de cibles (encadrant la zone de levé) déterminées par GNSS et/ou tachéométrie suivant la précision finale requise et l'environnement.
- Ces systèmes complexes doivent régulièrement être étalonnés.

Précision

Lors d'un levé au scanner dynamique, il faut différencier trois types de précision :

- la précision des points mesurés par le scanner qui est directement liée aux caractéristiques techniques de ce dernier (bruit de la mesure) ;
- la précision du système et de son assemblage ;
- la précision de la méthodologie utilisée pour effectuer le levé.

La précision est indépendante de la résolution.

Les critères à prendre en compte pour évaluer la précision d'un nuage sont la portée, la précision 3D (donnée pour un albédo à 78 %), la résolution spatiale, le poids, la vitesse d'acquisition, la vitesse de déplacement et le bruit de la mesure.

Limites d'utilisation

Les principales limites d'utilisation d'un scanner dynamique sont liées aux éléments suivants :

- caractéristiques techniques de l'appareil. Tenir compte de la portée de l'appareil et de ses limites d'utilisation ;
- demandes et attentes du client. Un scanner dynamique est-il nécessaire si l'utilisation d'un tachéomètre répond à la demande ? ;
- accessibilité du site. Compte tenu de l'encombrement de certains modèles, le déploiement du matériel peut représenter plus de contraintes que son utilisation (densité de la végétation, des véhicules) ;
- il faut tenir compte des conditions météo (pluie, humidité, température) ;
- il faut tenir compte de l'environnement du site (présence de nombreux vitrages, miroirs ou surfaces peu ou trop réfléchives, poussières) qui peut altérer la qualité des mesures ainsi que des obstacles empêchant la mesure ;
- quantité de données à traiter. Trop de données acquises peut parfois s'avérer inutile et augmenter inutilement le temps de traitement du dossier ;
- bruit de mesure lié au lidar utilisé. Le bruit obtenu peut être incompatible avec certaines applications (relevé architectural pour travaux...).