

CONTRÔLE 3D DE GRANDS VOLUMES

Les outils se combinent

▼ **Contrôler une pale d'éolienne, une carrosserie automobile ou le tronçon d'un avion ne requiert évidemment pas les mêmes moyens que des pièces de petite taille. Les lasers de poursuite, les scanners laser et les systèmes de photogrammétrie font partie des outils dédiés à la mesure de grands volumes. Mais la liste ne s'arrête pas là. En combinant certaines solutions entre elles, on accède en effet à de très nombreuses variantes: des lasers de poursuite associés à des scanners ou des bras de mesure, des caméras de photogrammétrie combinées à des lasers, voire intégrées à des scanners, des lasers associés à des capteurs à projection de franges... bref, un large champ des possibles dans lequel il est difficile de se retrouver. Pour faire le bon choix, il ne faut pas perdre de vue son besoin initial.**

Vu de loin, cela pourrait bien ressembler à une célèbre tirade. Au tout début, il n'y a que quatre grands principes de mesure. Des lasers de poursuite, des scanners laser, des bras et des systèmes de photogrammétrie. Quatre grands principes... qui se transforment rapidement en une infinité de variantes.

L'essentiel

- Pour mesurer des pièces de grands volumes, on utilise couramment les lasers de poursuite, les scanners laser ou les systèmes de photogrammétrie. Mais un grand nombre de variantes ont vu le jour ces derniers temps.
- Les lasers de poursuite peuvent ainsi être associés à des bras, des scanners laser, des palpeurs à contact ou même des capteurs à projection de franges. Ils sont destinés à des applications de mesure et de numérisation.
- Les systèmes de photogrammétrie, quant à eux, sont appréciés pour leur capacité à acquérir beaucoup de points en peu de temps.

Si bien qu'en arrivant au port, il est difficile de s'y retrouver: il y a les lasers de poursuite que l'on utilise seuls, ou que l'on associe à d'autres solutions (bras, caméras, palpeurs, capteurs à projection de franges...). Il y a aussi les scanners laser, le plus souvent accompagnés, ainsi que les diverses variantes des systèmes de photogrammétrie. Sans parler des lasers à balayage, ou autres théodolites, venus également en renfort. Et la liste ne cesse de s'allonger. L'an dernier, Creaform a introduit un système intégrant,

dans un seul boîtier, une caméra de photogrammétrie et un scanner laser. Leica (groupe Hexagon Metrology) a de son côté associé son laser de poursuite à plusieurs types d'accessoires (dont un palpeur à contact et un scanner laser). Autre exemple, Boreal 3D vient tout juste de présenter un laser de poursuite associé à un capteur à projection de franges. Toutes ces solutions sont dédiées au même type d'applications. On les utilise bien sûr pour contrôler des pièces de grands volumes (jusqu'à plusieurs dizaines de mètres cubes), notamment lorsque la mesure doit s'effectuer à grande distance ou dans des endroits difficiles d'accès. Les domaines d'applications "typiques" sont l'automobile, l'aéronautique, ainsi que le naval et le nucléaire. Parfois, l'opérateur doit rester au plus près de la pièce (c'est le cas notamment lorsqu'il utilise un bras ou un palpeur à contact associé à un laser). Dans d'autres cas, la mesure s'effectue à distance de manière automatique. Le contrôle réalisé valide la conformité d'une pièce lors de sa réception, ou détecte les dérives d'une production. Autres exemples d'applications, la numérisation 3D des pièces produites (et parfois des usines entières), ainsi que la rétroconception (*reverse engineering*). Enfin, ces moyens de mesure sont aussi utilisés pour automatiser l'assemblage des pièces de grands volumes, et même pour suivre la déformation des structures.

Pour choisir l'outil le mieux adapté à l'application, il ne faut pas perdre de vue son besoin initial. La précision attendue est le premier critère à prendre en compte. Numériser une usine en vue de changer l'emplacement des différents équipements ne nécessite pas la même précision que le contrôle d'une pièce stratégique en cours de production. De même, la solution choisie dépendra du volume de mesure, de la distance de travail, de l'accessibilité (ou pas) de la pièce, et du type d'inspection que l'on souhaite réaliser. En effet, on n'utilisera pas le même genre d'appareil suivant que l'on souhaite relever la position de quelques points disposés sur une pièce de grand volume, ou la scanner intégralement pour obtenir un nuage de points. Enfin il faut aussi prendre en compte le temps nécessaire à la préparation éventuelle de la mesure et à l'acquisition des points en 3D, ainsi que le budget dont on dispose. Au final, il y a toujours moyen de trouver une solution qui correspond à son besoin...

De nombreuses variantes

Parmi les outils les plus couramment employés dans la mesure de grands volumes, on trouve tout d'abord les lasers de poursuite (ou *trackers*). La solution, qui existe depuis une vingtaine d'années, a largement fait ses



Les bras de mesure peuvent être utilisés seuls ou associés à un laser de poursuite. Dans ce cas, le laser ne doit pas forcément "voir" le bras durant le contrôle.

et relèvent le défi



Hexagon Metrology

Le laser de poursuite est souvent associé à d'autres moyens de contrôle munis de réflecteurs (palpeurs à contact, scanners laser, etc.). Ici l'appareil détermine la position du scanner laser, et ce dernier numérise la pièce contrôlée. Quant à l'orientation du scanner dans l'espace, elle est définie par une caméra de photogrammétrie intégrée au laser de poursuite.

preuves. A l'origine, les premières applications s'approchent de celles que connaissent alors les théodolites, puis elles s'orientent davantage vers l'inspection des outillages de contrôle dans l'aéronautique. De l'inspection des outillages à celle des pièces proprement dites, il n'y a qu'un pas, que le laser de poursuite franchit très vite. Aujourd'hui, la solution est encore très souvent utilisée seule, sans autre moyen de mesure. Dans ce cas, le laser effectue le contrôle en mesurant la position de points spécifiques situés à la surface de la pièce (ou en suivant leur déplacement). Le plus souvent, ces points sont matérialisés par un réflecteur constitué d'une sorte de bille métallique que l'on déplace suivant les besoins.

Le laser de poursuite offre généralement une précision élevée (de l'ordre du centième de

millimètre) et une distance de mesure importante (plusieurs dizaines de mètres). Sans autre moyen de mesure, il est, par exemple, utilisé dans l'automobile, pour contrôler les outillages de fabrication, ainsi que dans les opérations d'assemblages. Dans ce cas, il est possible d'automatiser l'opération, en mesurant des points fixes sur les pièces à assembler, mais aussi de vérifier que l'assemblage final est correct.

Seule limite, le laser de poursuite contrôle plusieurs points distincts, et non l'intégralité d'une surface. Si l'on souhaite obtenir un maillage plus précis, il faut lui associer un autre moyen de mesure. Pour cela, chaque fabricant, ou presque, a développé sa propre solution. Chez Hexagon Metrology, par exemple, on trouve un laser de poursuite associé soit à un palpeur à contact (le T-Probe), soit

à un scanner laser (le T-Scan). Dans ce cas, le laser de poursuite ne regarde pas la pièce mais le scanner laser (muni de réflecteurs), et c'est le scanner qui effectue un balayage de la surface en relevant un maximum de points. La dernière version du T-Scan, qui a été présentée au salon Control 2009 à Stuttgart, acquiert ainsi jusqu'à 20 000 points par seconde (avec une précision de l'ordre de 50 ou 60 μm).

Pour que chaque point soit localisé dans le même référentiel, le laser de poursuite est en réalité associé à une petite caméra (la T-Cam). Tandis que le laser repère en permanence la position du T-Scan, la caméra détermine, par photogrammétrie, son orientation.

Avec le T-Probe, la philosophie est un peu différente. Le capteur, sans fil, ressemble davantage à un palpeur de MMT qui serait "déporté" de la machine pour effectuer un contrôle à distance. La solution est plus précise que le T-Scan (de l'ordre de 10 à 15 μm) et elle offre une certaine liberté de mouvement à l'opérateur. « En développant le T-Probe, nous avons surtout voulu accroître l'ergonomie et faire gagner du temps à l'opérateur. Il est possible, par exemple, de tenir le palpeur la "tête en bas" ou d'aller réaliser les mesures dans des endroits difficiles d'accès en ne déplaçant plus le tracker (ou alors beaucoup moins souvent) », explique Max Courtois, responsable technique applicatif Leica chez Hexagon Metrology. Seuls inconvénients, la solution est relativement coûteuse, et elle nécessite de maintenir une visée directe entre le laser de poursuite et son accessoire (palpeur ou scanner laser).

Un palpeur de MMT "déporté"

Autre exemple, Faro propose d'associer le tracker à un bras de mesure 3D. La solution offre plusieurs avantages. Les deux systèmes fonctionnent tout d'abord de manière autonome. Ils peuvent donc servir à leurs applications respectives, et être utilisés conjointement quand l'application se présente. →

→ D'autre part, le laser de poursuite ne doit pas nécessairement "voir" le bras de mesure durant le contrôle. La mire située sur le bras ne sert qu'à prendre une référence avant de lancer les mesures. Durant le contrôle proprement dit, le bras peut être situé en dehors de la visée du laser. Au final, c'est comme si l'on rallongeait artificiellement la longueur du bras de mesure. « Il s'agit en quelque sorte de "déplacer" un volume de mesure connu, dans lequel on a une incertitude donnée », indique Hugues Martin, responsable France Sud chez Faro. Le contrôle garde ainsi sa précision, même à grande distance. Autre variante, une solution inédite développée par la société allemande Steinbichler et commercialisée en France par Boreal 3D. Le système est basé sur un laser de poursuite d'API associé à un capteur à projection de franges en lumière blanche. Il effectue une numérisation complète des pièces contrôlées. « La solution est intéressante en particulier sur de très grandes pièces, dont la mesure avec d'autres méthodes prend du temps. On l'utilise, par exemple, pour numériser des pales d'éoliennes », précise Fabrice Goussu, directeur technique de Boreal 3D. Habituellement, ce type de contrôle s'effectue à l'aide de systèmes photogrammétriques. Mais la mesure est longue et fastidieuse (puisqu'elle nécessite de coller de nombreuses cibles). Avec le système de Steinbichler, le contrôle est réalisé par zones de 1 mètre carré. A chaque acquisition, ce sont près de 4 millions de points qui sont mesurés simultanément. Leur position dans l'espace est déterminée par le laser de poursuite. L'intérêt, c'est qu'il est possible d'automatiser entièrement le contrôle. Le laser de poursuite peut en effet suivre un robot sur lequel est



Dans de nombreuses applications de mesure 3D, le laser de poursuite fonctionne de manière autonome, sans autre moyen de contrôle. Mais il faut tout de même lui associer un réflecteur. Pour cela, il suffit de déplacer une petite sphère métallique à la surface de la pièce que l'on souhaite contrôler.

placé le capteur à projection de franges, et reconstruire automatiquement tout le volume de la pièce.

Les solutions de Leica, Faro ou API se distinguent également par d'autres critères. Il existe en particulier des systèmes dits "absolus" dont on comprend l'utilité en cas de coupure du faisceau laser. Grâce à eux, il n'est plus nécessaire de revenir auprès de l'appareil afin de récupérer le faisceau laser et effectuer un nouveau démarrage sur une cible fixe. Le faisceau peut être récupéré sur un point mobile (tel qu'un palpeur tenu par l'opérateur). Ensuite les caractéristiques des différents lasers de poursuite varient suivant le principe utilisé (interférométrie et/ou télémétrie). On peut également trouver des temps de chauffe du laser différents, des angles d'ouverture du faisceau plus ou moins larges, ainsi que des systèmes plus ou moins robustes...

Autre grand principe couramment employé, la photogrammétrie. Elle est proposée entre autres par Cognitens (groupe Hexagon Metrology), Gom, Aicon, Creaform ou encore GSI. A l'origine, la méthode consistait à photographier les pièces sous différents angles et à analyser en temps différé les photos obtenues pour en extraire une information tridimensionnelle. Puis les caméras CCD et le traitement numérique ont peu à peu donné naissance à des solutions réellement industrielles. On trouve désormais sur le marché

plusieurs variantes basées la plupart du temps sur des caméras CCD. Certains systèmes, comme le V-Stars de GSI, exploitent les images obtenues par un ou plusieurs appareils photo "industriels".

La photogrammétrie est très utilisée dans l'aéronautique et l'automobile. « On l'emploie notamment pour sa capacité à acquérir un grand nombre de points en très peu de temps », indique Serge Durand, directeur de l'activité "portable" chez Hexagon Metrology. En raison de ses temps d'acquisition relativement courts, la photogrammétrie est aussi privilégiée lorsqu'on souhaite comparer une pièce dans différents états. « Avec des caméras hautes fréquences, on peut ainsi effectuer des mesures de déformations en temps réel », souligne Fabrice Goussu (Boreal 3D). En termes de volume de mesure, la méthode n'est pas vraiment limitée. Il suffit en effet de multiplier les clichés pour couvrir une plus grande surface. En revanche, les temps de préparation peuvent être longs. Pour "recaler" entre elles les différentes images, il faut en effet disposer de plusieurs points de référence à la surface de la pièce. Le plus souvent, ces points sont matérialisés par des cibles que l'on vient coller puis détacher lors de chaque contrôle... Une opération qui s'avère souvent longue, en particulier lorsqu'on inspecte des pièces de très grands volumes. Pour pallier cet inconvénient, certains fournisseurs proposent des systèmes projetant des cibles "virtuelles"

Pour un aperçu rapide

Pour mesurer des pièces de grands volumes, il existe aujourd'hui plusieurs méthodes:

- ▶ **par contact:** machines à mesurer 3D, bras de mesure, palpeurs à contact associés à un laser de poursuite ou à une caméra optique, bras de mesure suivi par un laser de poursuite.
- ▶ **sans contact:**
 - pour la mesure de points distincts ou d'entités géométriques: lasers de poursuite seuls; photogrammétrie.
 - pour des nuages de points plus denses: scanners laser sur MMT, sur des bras associés à un laser de poursuite ou une caméra optique, ou seuls; capteurs à projection de franges en lumière blanche associés à la photogrammétrie; capteurs laser à balayage.

grâce à une émission lumineuse. Reste que la photogrammétrie permet d'obtenir plusieurs points de mesure distincts, et non une numérisation très fine de la pièce. Pour obtenir un maillage étroit, certains systèmes associent la photogrammétrie à la projection d'une trame lumineuse. C'est le cas par exemple chez Cognitens. Cela ne dispense pas, malgré tout, d'utiliser des cibles pour réaliser une sorte d'ossature de la pièce et juxtaposer les images sans erreur.

D'autres solutions, plus ou moins répandues, ont aussi fait leurs preuves dans la mesure 3D de grands volumes. C'est le cas, par exemple, des systèmes (développés notamment par Kreon) qui associent un scanner laser et un bras de mesure. Ils conduisent à l'obtention d'un nuage de points avec une précision de l'ordre de 40 à 70 μm , et pour un coût relativement faible (à partir de 45 000 euros). Malgré tout, le volume de mesure est limité. La méthode convient donc à des pièces de plus petite taille que les systèmes précédents. Moins connu, le système OptoTrack proposé par Boreal 3D utilise une caméra infrarouge et un scanner laser manuel ou robotisé. La



Il existe des systèmes basés sur un laser de poursuite et un capteur à projection de franges en lumière blanche. Grâce à cette solution, il est possible d'obtenir une numérisation 3D des pièces contrôlées de manière totalement automatique.

caméra joue en fait le rôle d'un laser de poursuite, qui détermine la position du scanner. « On obtient ainsi une cartographie complète de la pièce contrôlée, avec une précision légèrement inférieure aux solutions basées sur un tracker laser, mais avec un coût plus attractif », indique Fabrice Goussu.

Citons enfin les lasers à balayage, utilisés pour numériser des scènes complètes : grandes structures, façades, usines, etc. Bien

sûr, la précision obtenue est beaucoup plus faible que dans les méthodes précédentes (elle varie entre le millimètre et le centimètre), mais les distances s'élèvent à une centaine de mètres, voire plus. Dans le même esprit, il existe aussi une solution basée sur la technologie GPS. Proposée par Metris, elle assure la localisation des pièces de grands volumes et la numérisation de scènes entières.

Marie-Line Zani-Demange