

# Solutions

MESURES MÉCANIQUES

## Quels palpeurs pour vos machines à mesurer?

▼ Caméras CCD, palpeurs laser, capteurs à déclenchement ou de scanning... en matière de palpeurs de machines à mesurer, il n'y a que l'embarras du choix. Mais attention à ne pas en négliger l'importance. Même s'il ne représente qu'une petite fraction du coût d'une machine à mesurer, le palpeur est souvent le garant de la qualité de la mesure. Pour bien choisir, il y a des critères bien précis à prendre en compte, et un certain nombre de précautions à prendre. Tout dépend notamment du type de pièces, de la nature des matériaux, de la précision souhaitée et de la vitesse de palpation recherchée...

**L**a capacité, la résolution, la précision volumétrique, la répétabilité, la vitesse, l'accélération maximale... les critères de choix d'une machine à mesurer tridimensionnelle sont légion, et tout le monde, ou presque, les connaît sur le bout des doigts. Ce que l'on connaît moins, ce sont ceux qui déterminent le choix du palpeur le mieux adapté à l'application. Pourtant, rien ne sert d'avoir la meilleure machine du marché si l'on n'y associe pas "le bon palpeur".

Le choix est large. Des traditionnels palpeurs à déclenchement ou de scanning de toutes tailles, de toutes formes et munis des stylets les plus originaux aux caméras CCD, en passant par les palpeurs laser, il y a toujours moyen de trouver... son bonheur. Du moment, bien sûr, que l'on arrive à s'y retrouver.

L'offre se divise principalement en deux grandes familles de palpeurs suivant qu'ils viennent en contact, ou pas, avec la pièce à

mesurer. Il existe ensuite deux sortes de palpeurs à contact : les palpeurs à déclenchement (ou point à point) et les palpeurs mesurants (ou de scanning).

**Les palpeurs à déclenchement** sont les plus courants. Ils sont constitués d'un capteur associé à un stylet au bout duquel se situe une sphère (généralement une bille de rubis). Le palpation consiste à venir toucher la pièce avec la bille en maintenant une vitesse d'avance constante. Le contact entre la bille et la pièce provoque la lecture et l'enregistrement de la position des axes de la machine, ce qui permet d'en déduire les coordonnées du point mesuré...

Le palpeur à déclenchement est donc utilisé pour des mesures discrètes. Sa fiabilité repose sur la détection du moment précis où s'établit le contact entre la bille et la pièce. Pour cela, il existe trois technologies différentes. Le principe résistif est le plus courant et le plus simple. Un courant électrique cir-



cule à travers les points de contact de l'équipage mobile solidaire du stylet. Le déplacement du stylet lorsqu'il touche la pièce provoque une diminution de la surface de contact, et donc une atténuation du courant électrique. En le mesurant, on détecte alors le contact entre la pièce et le palpeur.

Le déclenchement peut être également mesuré par des jauges de contraintes situées dans le corps du capteur. La méthode, précise et robuste, est basée sur la mesure de la force subie par le stylet lorsque la bille entre en contact avec la pièce.

Enfin, la détection du contact peut être assurée par une cellule piézo-électrique, qui génère

### L'essentiel

- ▶ Même s'il représente moins d'un dixième du coût d'une machine à mesurer, le palpeur est le garant de la qualité de la mesure.
- ▶ Il en existe trois grandes familles : les palpeurs sans contact, les palpeurs à déclenchement et les palpeurs de scanning.
- ▶ Suivant le type de matériau, les éléments à mesurer, la précision et la vitesse de mesure recherchées, il faut alors privilégier l'une ou l'autre des méthodes.



La compacité est un précieux atout des palpeurs à contact... Avec un diamètre d'à peine 25 mm, le dernier palpeur mesurant SP 25 de Renishaw est un modèle du genre.

une tension proportionnelle à la force engendrée par la flexion du stylet. Ce principe est sensible aux chocs et à l'état de surface des pièces mesurées, mais il se distingue aussi par une précision élevée.

Contrairement aux palpeurs à déclenchement, **les palpeurs mesurants** assurent une prise de points en continu. Ils sont donc généralement employés pour des applications de contrôle de forme ou de numérisation (notamment dans le domaine de l'outillage, dans la fabrication des moules, etc.). Le principe associe la mesure du déplacement des axes de la machine à celle de la déflexion du palpeur. Les palpeurs mesurants sont quatre à cinq fois plus chers que les palpeurs à déclenchement. Ils sont aussi plus encombrants et plus sensibles aux forces d'inertie. En revanche, ils sont plus précis pour l'analyse de formes, ils permettent d'acquérir rapidement une grande quantité de données et sont caractérisés, pour certains, par une faible force de contact (ce qui autorise le palpé de détails très fins).

**Les palpeurs sans contact**, dont l'emploi sur les machines à mesurer est plus récent que celui des palpeurs à déclenchement ou mesurants, sont le plus souvent basés sur des caméras CCD ou des palpeurs laser. La mesure est donc réalisée par une analyse d'images ou par triangulation laser. Dans tous les cas, les palpeurs sans contact offrent une vitesse de mesure élevée. Ils sont ainsi utilisés pour numériser à grande vitesse des surfaces gauches, ou pour mesurer rapidement la forme de pièces de

grandes dimensions (carrosseries automobiles notamment). De plus, comme il n'y a aucun contact entre le palpeur et la pièce, il est possible de réaliser des mesures sur des matériaux déformables, ou dans des endroits inaccessibles aux palpeurs traditionnels.

## Des critères de choix incontournables

Reste que les palpeurs sans contact sont généralement moins précis que les palpeurs mesurants ou à déclenchement. Ils sont également sensibles aux qualités optiques des surfaces mesurées, et inadaptés à la mesure dans les zones d'ombre.

Bien entendu, il n'existe pas de méthode de palpé idéale. Ce sont toujours les contraintes de l'application qui permettent de privilégier l'une ou l'autre des techniques. Pour bien choisir, il faut notamment considérer le type de pièce et de machine à mesurer, les caractéristiques que l'on mesure, la précision et les temps de cycle attendus.

**Le type de pièces.** Il permet notamment de discriminer les méthodes à contact des méthodes sans contact. Si l'on contrôle des matériaux déformables ou fragiles, les palpeurs sans contact sont la meilleure solution... Mais il est toujours possible de contrôler des matériaux mous à l'aide de

palpeurs à contact. Dans ce cas, il faut utiliser un stylet très long, une bille de gros diamètre et de faibles forces de palpé. Bien sûr, l'incertitude de mesure sera toujours supérieure à celle que l'on obtient sur des matériaux durs, et ce quelle que soit la méthode utilisée...

Autre critère de choix, la répétabilité du processus. Si l'on mesure des pièces de précision de forme stable, répétable, et qu'il n'y a qu'à se focaliser sur la dimension ou la position des éléments à mesurer, les palpeurs à déclenchement conviennent à la majorité des applications. En revanche, le palpeur mesurant s'impose si la pièce comporte des formes complexes ou des entités dont il est important de connaître les défauts de forme.

Enfin, la taille des pièces est également importante. Une caméra CCD ou un palpeur laser sont plus adaptés au balayage rapide de grandes surfaces planes, alors que la mesure précise de ces surfaces à l'aide de palpeurs à contact sera nettement plus longue...

**Les éléments que l'on mesure.** Pour déterminer les tolérances géométriques acceptables, il faut savoir si l'élément que l'on mesure est une caractéristique critique, ou pas, dans le fonctionnement ou dans la durée de vie de la pièce. La mesure discrète est souvent suffisante pour des caractéristiques peu critiques, alors que l'on uti-

## Différentes méthodes de palpé

	Principaux avantages	Principales limitations
<b>Palpeurs à contact</b> - mesurants	- Précision (surtout à basse vitesse) - Convient aux applications de contrôle de forme et de numérisation (scanning)	- Coût - Nécessité de compenser les erreurs dynamiques - Encombrement - Peu adaptés aux matériaux déformables - Peu adaptés aux mesures dans des endroits difficiles d'accès - Nombre limité de configurations de stylets
- à déclenchement	- Rapidité - Robustesse - Compacité - Flexibilité (nombreuses configurations de stylets) - Convient à la prise rapide de points discrets	- Peu adaptés aux matériaux déformables - Peu adaptés aux mesures dans des endroits difficiles d'accès
<b>Palpeurs sans contact</b> (caméra CCD, palpeur laser, etc.)	- Rapidité - Possibilité de réaliser des mesures dans des endroits inaccessibles aux palpeurs à contact - Mesures sur des matériaux déformables, numérisation à grande vitesse de surfaces gauches	- Précision limitée - Sensibilité à l'état de surface des pièces (pour les palpeurs laser)

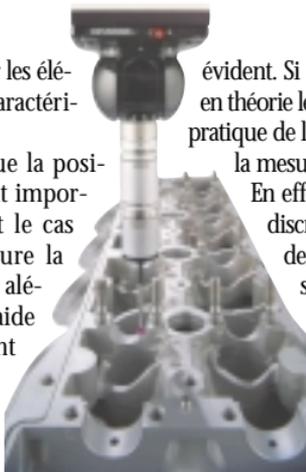
lise une mesure continue pour les éléments que l'on a besoin de caractériser le plus finement possible.

De manière générale, lorsque la position ou la taille d'un élément importe plus que sa forme (c'est le cas notamment lorsqu'on mesure la position et le diamètre d'un alésage), la mesure discrète à l'aide de palpeurs à déclenchement est plus employée que la mesure continue ou le palpé sans contact.

**La machine à mesurer.** Bien

souvent, le choix des palpeurs découle directement du type de machines que l'on utilise pour réaliser les contrôles. Avec une machine à bras horizontal, par exemple, il est aberrant d'employer un palpeur mesurant (dont la précision est disproportionnée par rapport aux vibrations et aux déformations engendrées par le déplacement du bras). Une machine à bras est donc toujours associée à un palpeur à déclenchement. De même, il n'est pas nécessaire d'associer un palpeur mesurant à une machine à portique de moyenne précision.

**La précision recherchée.** Le palpé à contact est actuellement la méthode la plus précise. Mais entre les palpeurs mesurants et les palpeurs à déclenchement, le choix n'est pas si



évident. Si les palpeurs mesurants sont en théorie les plus précis, tout dépend en pratique de la vitesse à laquelle s'effectue la mesure...

En effet, lors de la prise de points discrets, le déplacement des axes de la machine s'effectue à vitesse constante. Les forces engendrées par la masse et les accélérations de la machine sont donc nulles. En scanning, ce n'est pas le cas. Les forces inertielles ne sont pas négligeables,

et les erreurs dynamiques augmentent avec la vitesse à laquelle s'effectue la mesure. Pour garantir une précision acceptable, les systèmes de scanning traditionnels prennent alors des mesures à basse vitesse (généralement moins de 20 mm/s).

**La vitesse de mesure.** Quand ce paramètre est plus important que la précision (tous les autres critères de choix étant égaux par ailleurs), le palpé sans contact est souvent privilégié. Les caméras et les palpeurs laser permettent de contrôler à grande vitesse tous types de surfaces et de matériaux (du moment qu'ils n'induisent pas de réflexions parasites ou de zones d'ombre).

En revanche, avec des palpeurs à contact (et notamment des palpeurs mesurants), il faut

## Le stylet, un élément clé du palpeur

Trop souvent négligé et rarement estimé à sa juste valeur, le stylet est pourtant un élément clé des palpeurs de machine à mesurer. A moins de mesurer constamment une seule et même caractéristique, il est toujours nécessaire de trouver celui qui sera le plus adapté au type de mesure que l'on souhaite réaliser.

Comme dans le cas des palpeurs, le choix est vaste. Si les plus courants sont les stylets munis d'une bille en rubis, il existe également des stylets en pointe (utilisés notamment pour mesurer des trous de faible diamètre), des stylets à bille hémisphérique (pour le palpé de matériaux tendres comme les mousses ou les caoutchoucs), des stylets disques (pour le palpé de rainures notamment), et très souvent un montage de quatre stylets en étoile (pour contrôler des points à l'intérieur des pièces

sans avoir à réorienter le palpeur à chaque fois).

Dans tous les cas, un certain nombre de précautions élémentaires permettent d'assurer la qualité de la mesure :

# Utiliser un stylet court et rigide. Plus le stylet fléchit ou dévie, plus l'on perd en précision. Il faut donc si possible éviter les rallonges pour privilégier les stylets constitués d'une seule pièce, et choisir les diamètres les plus importants.

Pour les cas où l'on doit utiliser des stylets de grande longueur, il faut aussi choisir les matériaux les plus rigides (carbure de tungstène, céramique, etc.).

# Privilégier les billes de gros diamètre, en particulier lorsque l'état de surface est irrégulier, ou lorsque l'on a affaire à des surfaces déformables ou fragiles.

MLZ



garder à l'esprit qu'il y a toujours un compromis entre la vitesse de mesure et la précision. Dans la plupart des cas, il est donc conseillé de réaliser des essais préliminaires afin de déterminer la vitesse maximale à laquelle on peut aller sans dépasser l'incertitude de mesure recherchée.

**La flexibilité.** Idéalement, les palpeurs doivent pouvoir s'adapter à un nombre maximal d'applications. C'est l'avantage des palpeurs mesurants, qui peuvent être également utilisés pour réaliser des mesures point à point, alors que l'inverse est fortement déconseillé. Mais la solution reste toutefois plus coûteuse et moins rapide que l'utilisation d'un palpeur à déclenchement. Il existe encore bien d'autres éléments à prendre en considération. C'est le cas notamment de la fréquence propre du palpeur (qui va déterminer la vitesse de palpé) et de sa masse. Un palpeur mesurant est généralement plus lourd et plus encombrant qu'un palpeur à déclenchement. Il est donc moins adapté à la mesure dans des endroits difficiles d'accès. Enfin, plus un



palpeur est encombrant, plus sa fréquence propre (et donc sa vitesse de palpé) sera faible...

## Associer différents types de palpeurs

Il faut cependant apporter quelques nuances à ces arguments. Dans la pratique, rien n'est vraiment tout blanc ou tout noir. Il existe par exemple des solutions permettant de compenser les erreurs dynamiques introduites dans les opérations de scanning à haute vitesse. C'est le cas notamment du système de compensation algorithmique RenScan DC (pour *dynamic compensation*) breveté par Renishaw. Son principe est relativement simple. Les pièces sont mesurées à deux vitesses de scanning différentes. Les différences obtenues sont ensuite utilisées par le contrôleur pour dresser une carte de compensation dynamique pour chaque caractéristique. Les pièces suivantes peuvent alors être mesurées à des vitesses élevées, avec un niveau de précision pratiquement équivalent à celui que l'on obtient à des vitesses plus faibles. La solution est bien sûr utilisable à condition que la mesure soit répétable pour une pièce précise et dans un environnement donné. Autre nuance à apporter, la précision de la mesure reste toujours liée à l'environnement dans lequel est placée la machine. Les machines à contact étant théoriquement plus robustes que les stations de mesure sans contact, elles sont souvent placées dans un environnement plus difficile. Mais même la machine à contact la plus précise du marché installée dans ces conditions pourra donner un résultat moins bon qu'une machine sans

Qu'ils soient utilisés pour mesurer des longueurs, localiser des alignements, contrôler la forme d'une pièce ou en numériser la surface, les palpeurs à contact doivent répondre à un certain nombre de critères incontournables : la précision, bien sûr, mais aussi la compacité, la rapidité, la robustesse, et la capacité à s'adapter à différentes configurations de stylets.

contact installée dans une salle de métrologie... Enfin, si l'on ne trouve pas toujours la meilleure solution dans l'un ou l'autre des palpeurs, il est toujours possible de combiner les méthodes. Il existe depuis quelques années déjà des machines à mesurer tridimensionnelles équipées à la fois de palpeurs optiques et mécaniques (palpeurs à contact, caméras CCD et palpeurs laser). Suivant le type de matériau et les éléments à contrôler, c'est l'un ou l'autre des palpeurs qui est utilisé.

De même, certains types de palpeurs associent différentes technologies de mesure. Le palpeur à déclenchement TP 800 de Renishaw, par exemple, combine un contact résistif, une cellule piézoélectrique et des jauges de contraintes. De cette manière, il a la sensibilité de déclenchement du principe piézoélectrique, mais n'est pas limité aux pièces dont l'état de surface est parfaitement propre et sec. Si les pièces sont couvertes d'un léger film d'huile, par exemple, les jauges de contraintes assurent toujours la détection "au bon moment"...

Enfin, certains capteurs peuvent être transformés en palpeurs à déclenchement ou en palpeurs mesurants suivant les besoins de l'application. Le dernier palpeur mesurant SP 25 de Renishaw, par exemple, peut être connecté à un module adaptateur compatible avec certains palpeurs à déclenchement de la société.

Louis Gonzalez  
Directeur de Renishaw  
MLZ

## Renishaw, en bref

Depuis le tout premier palpeur à déclenchement du marché conçu par le créateur et actuel directeur de la société en 1972, Renishaw est spécialisée dans le domaine des palpeurs pour les machines à mesurer tridimensionnelles et les machines-outils. Au fil des ans, elle a étoffé son offre avec une large gamme de produits : capteurs à déclenchement ou mesurants, stylets, codeurs linéaires et angulaires, systèmes de numérisation 3D, systèmes laser de réglage et de détection de bris d'outils, spectromètres Raman, etc.

Renishaw emploie aujourd'hui près de 1 500 personnes (dont 29 en France, à Marne la vallée) et réalise un chiffre d'affaires d'environ 147 M€.

MLZ