

# Guide d'achat

MESURES MÉCANIQUES

## Les machines à mesurer tridimensionnelles

▼ Qu'elles soient installées dans les salles climatisées de métrologie ou au plus près de la production, les machines à mesurer tridimensionnelles (MMT) restent le moyen de mesure 3D par excellence. Ces "bijoux" qui garantissent une précision au dixième de micron près et dont les bras se déplacent parfois jusqu'à 2 mètres par seconde, connaissent sans cesse de nouvelles évolutions technologiques. Les palpeurs et les règles qu'elles intègrent, les matériaux qui les constituent, les systèmes de compensation thermique... leur permettent d'être toujours plus rapides et plus précises. Dans cette course aux performances, les différences entre les fournisseurs sont bien minces. Pour faire le bon choix, il faut considérer des critères très spécifiques...

Le marché de la machine à mesurer tridimensionnelle offre de nombreuses particularités. Relativement restreint au niveau de la demande (il se vend chaque année en France quelques centaines de machines à mesurer), il est détenu par un très faible nombre d'offres (une dizaine, tout au plus) et marqué par de profondes disparités suite aux concentrations dont il a fait l'objet ces dernières années. En cinq ans, le nombre d'offres a pratiquement été réduit de moitié. Outre le rachat par Mahr de Federal en 2000 ou celui de LK France par CMA, c'est le groupe financier suédois Hexagon qui s'est offert la plus grosse part du gâteau en rachetant quelques grands noms de la métrologie 3D : Brown & Sharpe, DEA, Tesa, Johansson ou encore Leitz, sont désormais regroupés au sein d'Hexagon Metrology. Juste derrière ce groupe viennent

le Japonais Mitutoyo (à eux deux, Mitutoyo et Hexagon détiennent une bonne moitié du marché), puis Wenzel et Zeiss... A eux quatre, on a la quasi-totalité du marché.

L'autre particularité, c'est que chaque fournisseur, ou presque, a sa spécialité. A côté de ceux qui disposent d'une offre relativement complète (tels qu'Hexagon Metrology ou Mitutoyo), on trouve ainsi des sociétés spécialisées davantage dans un type de machine (telle que Stielmayer avec ses machines à mesurer à bras horizontal) ou dans un principe de mesure (telle que Werth avec la mesure vidéo). Quant aux marques Leitz ou Zeiss, elles se positionnent essentiellement sur les machines haut de gamme.

A l'image des acteurs de ce marché, les machines à mesurer offrent elles aussi un profil atypique. L'investissement de départ est souvent conséquent (il faut compter de

33 000 à 300 000 euros pour une MMT à commande numérique), mais la durée de vie d'une MMT s'étend sur une vingtaine d'années et il est toujours possible de la réactualiser par un "rétrofit" (en changeant la commande, les palpeurs ou en faisant évoluer le logiciel de mesure). Les fournisseurs proposent de nombreux modèles qui diffèrent souvent très peu les uns des autres, mais attention, il suffit parfois que la précision volumétrique soit meilleure d'un micromètre pour que le coût d'une machine passe du



Parmi les différentes structures de machines à mesurer, les machines à portique sont les plus répandues. Il en existe deux types : les machines à portique fixe et table mobile, ou à table fixe et portique mobile...

### En bref

- Le choix d'une machine à mesurer tridimensionnelle dépend de l'application à laquelle elle est destinée.
- Si l'on utilise la machine en bord de ligne, les critères de vitesse et de robustesse sont prépondérants. En laboratoire de métrologie, en revanche, c'est la précision qui compte.
- Le type d'applications détermine aussi la structure de la machine, sa capacité et le type de palpeurs qu'elle doit intégrer.

## Un aperçu de l'offre

Fabricant (Distributeur)	Modèle ou gamme	Structure	Course XxYxZ (en mm)	Précision* (µm) Répétabilité**	Vitesse Accélération Commande	Type de palpé	Utilisation (T° / présence de protections)	Observations Logiciel utilisé en standard
DEA (Hexagon Metrology)	Global	Portique mobile	De 500x700x500 à 2 000x4 000x2 000	De 3,5+L/250 à 1+L/350	500-800 mm/s 1,5 à 2 m/s <sup>2</sup> CNC/Manuel	Contact, laser	Salle clim. et atelier 20 ± 0,5 ou 15-30 °C suivant modèles	Logiciel utilisé en standard : PCDMIS
	Prima	Bras horizontal		18+15L/1 000	300 mm/s 0,4 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser	Atelier 15-30 °C	Logiciel utilisé en standard : PCDMIS
	Lambda	Pont mobile	De 3 000x5 000x2 500 à 4 000x10 000x2 500	7+7L/1 000	600 mm/s 0,3 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser	Salle clim. et atelier 16-26 °C	Logiciel utilisé en standard : PCDMIS
IBS Precision Engineering	Isara	Capteur stationnaire table mobile	100x100x40	30 nm	De 0,01 à 10 mm/s CNC/Manuel	Contact, laser	15-25°C (2) Oui	Force de mesure : 0,2mN. Logiciel : Metrolog version Ultra Precision IBS PE
Johansson (Hexagon Metrology)	Micro Hite	Portique mobile	400x500x400	3+L/250	350 mm/s 1,7 m/s <sup>2</sup> CNC/Manuel	Contact point à point	Salle clim. et atelier 20 ± 1 °C	Logiciel utilisé en standard : PCDMIS
Leitz (Hexagon Metrology)	PMM	Portique fixe	De 800x1 000x600 à 2 400x1 600x1000	0,6+L/600	400 mm/s 3 m/s <sup>2</sup>	Contact point à point et scanning	Salle climatisée 19-21 °C	Logiciel utilisé en standard : Quindos
Mahr (Mahr France)	Marvision MS222/400	Col de cygne	200x200x200 450x200x200	De 3,9+L/100 à 2,9+L/100 < 1 µm	150 mm/s CNC	Point à point, laser, laser+caméra	Salle clim. et atelier 20 ± 2 °C Oui	Option : log. interface CAO/DAO, bestfit, syst. antivibrations, 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axes. Logiciel : Marvision 3D
	Marvision MS442/662	Portique mobile	De 400x400x200 à 600x600x400	De 3,9+L/100 à 2,9+L/100 < 1 µm	250 mm/s CNC	Contact, laser, laser+caméra	Salle clim. et atelier 20 ± 2 °C	Option : log. interface CAO/DAO, bestfit, syst. antivibrations, 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axes. Logiciel : Marvision 3D
	Marvision OMS	Portique mobile	De 450x400x300 à 1 050x100x600	De 2,2+L/300 à 1,9+L/300 < 1 µm	200 mm/s CNC	Contact, laser, laser+caméra	Salle climatisée 20 ± 1 à 20 ± 0,5 °C Oui	Option : log. interface CAO/DAO, bestfit, syst. antivibrations, 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axes. Logiciel : Marvision 3D
	Marvision PMC	Portique mobile	De 500x600x350 à 800x1 500x700	De 3,5+L/300 à 3+L/300 < 1 µm	200 mm/s CNC	Point à point, laser, laser+caméra	Salle climatisée 20 ± 2 °C	Option : log. interface CAO/DAO, bestfit, syst. antivibrations, 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axes. Logiciel : Marvision 3D
	Marvision Compact	Col de cygne	450x300x200	2,5+L/200 < 1 µm	150 mm/s CNC	Point à point, laser, laser+caméra	Salle climatisée 20 ± 1 °C Oui	Option : log. interface CAO/DAO, bestfit, syst. antivibrations, 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axes. Logiciel : Marvision 3D
Microvu (MCE Technologies)	Vertex	Col de cygne	De 200x150x150 à 300x300x150	A partir de 1+4L/1 000 (E <sub>2</sub> )	250 mm/s 0,5 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser+caméra	Salle clim. et atelier 15-30 °C Oui	Logiciel : Inspec
	Excel	Portique mobile avec table fixe	De 600x600x150 à 1 200x1 500x150	1,5+7L/1 000 (E <sub>2</sub> )	500 mm/s 1 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser+caméra	Salle clim. et atelier 15-30 °C Oui	Double portique et table fixe. Pièces >100 kg. Courses >4000x2000x150 Logiciel : Inspec
	Vector	Col de cygne	De 150x150x150 à 300x300x300	2,5+L/100 (E <sub>2</sub> )	Manuel		Salle clim. et atelier 15-30 °C Oui	Logiciel : Inspec
	Matrix	Col de cygne	De 600x450x150 à 900x600x300	4+3L/100 (E <sub>2</sub> )	Manuel		Salle clim. et atelier 15-30 °C Oui	Table de grande dimension Logiciel : Inspec
Mitutoyo (Mitutoyo France)	Crysta Plus M	Portique mobile	4 modèles de 500x400x400 à 700x1 000x600	3+0,45L/100	Manuelles <sup>(5)</sup>	Contact (caméra adaptable)	Salle clim. et atelier 16-26 °C (3) Oui (4)	Option : transformation en CNC Compensation t°. Eclairage sous broche Z. Logiciel MCOsmOS

(1) Série LHF - (2) Variation maximale de température : ± 0,5 °C - (3) Système de compensation thermique en option - (4) Soufflets de protection sur X et Y - (5) Commande évolutive en CNC (retrofit)

(6) Système de compensation thermique en standard

\*MPe en µm (L en mm) suivant l'ISO 10360-2 - \*\*MPEp (en µm)

## Un aperçu de l'offre

Fabricant (Distributeur)	Modèle ou gamme	Structure	Course XxYxZ (en mm)	Précision* (µm) Répétabilité**	Vitesse Accélération Commande	Type de palpage	Utilisation (T° / présence de protections)	Observations Logiciel utilisé en standard
Mitutoyo (Mitutoyo France)	Crysta Apex C	Portique mobile	25 modèles de 500x400x400 à 2 000x5 000x2 000	De 1,9+0,3L/100 à 5,0+5,5L/100	520 mm/s 2,3 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser, caméra, caméra+laser	Salle clim. et atelier 16-26°C <sup>(6)</sup> Oui <sup>(4)</sup>	Compensation thermique en standard de la machine et de la pièce. Logiciel MCOSMOS
	Legex	Portique fixe et table Y mobile	6 modèles de 300x200x200 à 1 210x1 210x810	De 0,35+L/1 000 à 0,8+0,2L/100 De 0,45 à 1,0 µm	200 mm/s 1 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser, caméra, caméra+laser	Salle climatisée 18-22 °C <sup>(6)</sup> Oui <sup>(4)</sup>	Compens. t° standard de la MMT et de la pièce. Syst. antivibratoire (sauf 322). Logiciel MCOSMOS
	Mach et Mach V	Pont mobile ou broche horizontale	5 modèles de 460x460x300 à 900x1 000x600	De 2,5+3,5L/1 000 à 5,0+5L/1 000	De 866 à 1 800 mm/s 18 m/s <sup>2</sup> . CNC	Contact point à point et scanning	Salle clim. et atelier en ligne 10-15 ou 10-22 °C <sup>(6)</sup>	Conçue pour chargement auto. Correction t° de la MMT et de la pièce. Logiciel MCOSMOS
	Carb Apex et Strato	Bras horizontal (1 bras ou duplex)	Sur demande de 4 000x1 400x2 000 à 18 000x2 000x3 000	A partir de 18+20L/1 000	519-866 mm/s 1-2 m/s <sup>2</sup> CNC	Point à point, laser	Salle clim. et atelier 18-22 °C <sup>(6)</sup> Oui	Conçue pour pièces très volumineuses (carrosseries automobiles notamment) Logiciel MCOSMOS
Stiefelmayer (Boreal)	Actura	Bras horizontal	De 2 400x1 200x1 200 à 13 200x1 800x2 400	U3=50+L/20 <180 µm	Manuelle	Point à point, laser	Salle clim. et atelier 20 ± 4 °C Non	MMT se déplaçant sur le marbre. Autres dim. sur demande. Intégration des CN Metrologic et Renishaw
	Futura	Bras horizontal	De 2 400x1 200x1 200 à 13 200x1 800x2 400	U3=45+L/30 <110 µm	250 mm/s CNC/Manuel	Point à point, laser	Salle clim. et atelier 20 ± 4 °C Oui	Rail de guidage sur champ du marbre. Autres dim. sur demande. Intégration CN Metrologic et Renishaw
	Ventura	Bras horizontal	De 2 400x1 200x1 800 à 13 200x1 800x2 400	U3=50+L/25 <140 µm	250 mm/s CNC/Manuel	Point à point, laser	Salle clim. et atelier 20 ± 4 °C Oui	Rails intégrés dans le marbre et protégés. Autres dim. sur demande. CN Metrologic et Renishaw
Wenzel (Wenzel France)	Smart	Col de cygne	De 500x450x400 à 1 000x450x400	3,5+L/300 3,5 µm	650 mm/s 2 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser	Salle clim. et atelier 16-28 °C Oui	Logiciel : Metrosoft CM
	Série LH-LHF	Portique mobile	De 500x600x400 à 2 000x5 000x1 500 (3 000x6 000x2 000 <sup>(1)</sup> )	2+L/350 2 µm	600 mm/s 1,5 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser	Salle clim. et atelier 18-22 °C Oui	Dimensions spécifiques, compensation de t° et Gear Tech (denture) sur demande. Logiciel : Metrosoft CM
	RS Plus	Bras horizontal	De 2 000x1 000x1 200 à 6 500x3 000x2 500	30+L/40 30 µm	600 mm/s 2 m/s <sup>2</sup> CNC/Manuel	Contact, laser, laser+caméra	Salle clim. et atelier 18-22 °C Oui	Dimensions spécifiques sur demande Logiciel : Metrosoft CM
	RA-RA Plus	Bras horizontal	De 4 000x1 600x1 800 à 12 000x3 000x2 500	25+L/40 25 µm	600 mm/s 2 m/s <sup>2</sup> CNC/Manuel	Contact, laser, laser+caméra	Salle clim. et atelier 18-22 °C Oui	Dimensions spécifiques sur demande Logiciel : Metrosoft CM
	WGT Gear Tech	Broche horizontale	De 390x220x500 à 590x320x650	2+L/450 2 µm	300 mm/s 0,5 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact	Salle climatisée 18-22 °C Oui	Dimensions spécifiques sur demande Logiciel : Gear Tech
Werth (Werth Messtechnik France)	Scope Check	Bras horizontal	De 200x200x200 à 400x200x200	E3=2,9+L/100 P3=1,5	150 mm/s 0,3 m/s <sup>2</sup> CNC	Point à point, caméra, laser+caméra	Salle clim. et atelier 20 ± 2 °C Oui	Multi capteurs (opt., +palpae) Intégration de 4 <sup>ème</sup> axe Logiciel : WinWerth
	Video Check IP	Bras horizontal	De 250x125x200 à 400x200x200	E3=2,5+L/150 P3=1,5	200 mm/s 0,3 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, caméra, laser+caméra	Salle clim. et atelier 20 ± 2 °C Non	Multi capteurs (opt., palpae, laser, fibre optique et contour probe) 4 <sup>ème</sup> axe. Logiciel : WinWerth
	Video Check IP	Portique fixe	De 400x400x200 à 1 500x1 250x800	E3=2,0+L/300 P3=1,5	300 mm/s 1 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, caméra, laser+caméra	Salle clim. et atelier 20 ± 2 °C Non	Multi capteurs (opt., palpae, laser, fibre opt. et contour probe). 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axe. Logiciel : WinWerth
	Video Check EA	Portique fixe	De 400x400x200 à 1 500x1 250x800	E3=1,5+L/400 P3=1,0	20 mm/s 0,4 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, caméra, laser+caméra	Salle climatisée 20 ± 1 °C Non	Multi capteurs (opt., laser, palpae, fibre opt. et contour probe). 4 <sup>ème</sup> et 5 <sup>ème</sup> axe. Logiciel : WinWerth

(1) Série LHF - (2) Variation maximale de température : ± 0,5 °C - (3) Système de compensation thermique en option - (4) Soufflets de protection sur X et Y - (5) Commande évolutive en CNC (retrofit)

(6) Système de compensation thermique en standard

\*MPÉe en µm (L en mm) suivant l'ISO 10360-2 - \*\*MPÉp (en µm)

Les machines à pont mobile offrent des capacités élevées (jusqu'à plusieurs mètres) et acceptent des charges importantes.



Hexagon Metrology

7,5 mètres par minute et une précision de 5+5L/1 000 (suivant les spécifications de la CMM). Aujourd'hui, la machine Global offre, à volume équivalent, une précision 1,5+L/333 (suivant l'ISO 360-2) et une vitesse de 52 mètres par minute! », s'exclame Serge Durand, responsable du développement pour l'Europe de l'Ouest chez Hexagon Metrology.

## Bien cerner son besoin

Le choix d'une machine à mesurer tridimensionnelle dépend avant tout de l'utilisation que l'on souhaite en faire. « Il faut d'abord savoir si la machine est destinée à un contrôle de type métrologique ou à un contrôle de production en ligne ou en bord de ligne, indique Christophe Peinau, directeur commercial en Biens d'équipements industriels chez Mitutoyo. Cela détermine une certaine précision, une vitesse de déplacement et les critères de robustesse dans lesquels doit rentrer le modèle ». Autre élément à considérer dès le départ, « le besoin d'utiliser la machine pour contrôler une seule pièce ou plusieurs à la fois. Suivant les cas, la capacité n'est pas la même », poursuit M. Peinau. Une fois que le besoin est bien défini, il faut considérer, un à un, des critères bien spécifiques. Une machine à mesurer tridimensionnelle est tout d'abord définie par sa **précision volumétrique**. Par le passé, tous les four-

simple au double... D'autre part, pour garantir des précisions meilleures que 2 micro-mètres, on ne peut ignorer l'environnement dans lequel est placée la machine. Si la moitié des MMT du marché français est installée dans des salles climatisées de métrologie, autrement dit dans un environnement propre et contrôlé en température, l'autre moitié est

installée dans un atelier de production. Dans ce cas, les critères de choix ne seront plus les mêmes. Enfin, il faut savoir que si leur apparence est quasiment identique, les caractéristiques techniques des machines actuelles n'ont rien de comparable avec ce qui se faisait il y a dix ou vingt ans. « En 1985, la machine à portique mobile Iota de DEA offrait une vitesse de

## Un aperçu de l'offre (suite)

Fabricant (Distributeur)	Modèle ou gamme	Structure	Course XxYxZ (en mm)	Précision* (µm) Répétabilité**	Vitesse Accélération Commande	Type de palpage	Utilisation (T° / présence de protections)	Observations Logiciel utilisé en standard
Werth (Werth Messtechnik France)	Video Check HA	Portique fixe	De 400x400x200 à 800x400x200	E3=1,5+L/500 P3=0,9	100 mm/s 0,25 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, caméra, laser+caméra	Salle climatisée 20 ± 0,5 °C Non	MMT multi capteurs (optique, laser, palpage, fibre opt. et contour probe) 4 <sup>ème</sup> axe. Logiciel : WinWerth
Zeiss (Carl Zeiss France)	Prismo / Spectrum	Portique mobile	De 700x700x600 à 3 000x6 000x2 000	1,4+L/333 1,4 µm	520 mm/s 2,4 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser laser+caméra	Salle climatisée 18-28°C Protection partielle	Techno. scanning Actif. Palpeur jusqu'à 800mm. Plateau pour engrenages (option). Log : Calypso/DME
	Max Line	Pont mobile	De 750x500x500 à 1 100x1 200x900	(1,6+0,05dT)+ (L/300-7dT) 1,7 µm	520 mm/s 2,4 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact point à point et scanning	Salle clim. et atelier 15-40°C Protection totale	Machines d'atelier, sans cabine. Scanning navigator. Logiciel : Calypso/DME
UPMC	Portique mobile	Portique mobile	De 850x1150x600 à 1 150x1 500x1 000	0,3+L/1 000 0,5 µm	110 mm/s 0,13 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact point à point et scanning	Salle climatisée 20±1 °C Non	Machine de laboratoire. Précision élevée avec UPMC Ultra Logiciel Calypso/DME
PRO	Bras horizontal	Bras horizontal	De 3 000x1 600x2 100 à 12 000x3 000x3 000	1,4+L/333 1,4 µm	500 mm/s 1m/s <sup>2</sup> CNC/Manuel	Contact, laser, laser+caméra	Salle clim. et atelier 16-24°C Protection totale	Pour carrosserie, outillage... Structure optimisée pour productivité maxi. Log. : Calypso/Holos/DMIS
F25	Portique mobile	Portique mobile	135x135x100	1,4+L/333 1,4 µm	20 mm/s 0,5 m/s <sup>2</sup> CNC	Contact, laser, laser+caméra	Salle climatisée 20±0,5 °C Non	Pour microcomposants. Palpeur de 0,1 mm de diam. Mesure optique. combinée. Logiciel Calypso/DME

(1) Série LHF - (2) Variation maximale de température : ± 0,5 °C - (3) Système de compensation thermique en option - (4) Soufflets de protection sur X et Y - (5) Commande évolutive en CNC (retrofit)

(6) Système de compensation thermique en standard

\*MPEe en µm (L en mm) suivant l'ISO 10360-2 - \*\*MPEp (en µm)

nisseurs n'utilisaient pas le même calcul pour la définir. Entre les normes CNOMO (utilisées dans l'industrie automobile), la CMMA (une méthode de calcul sur laquelle les principaux fournisseurs de machines à mesurer s'étaient accordés pour que l'utilisateur puisse s'y retrouver) ou encore la norme allemande VDI/VDA (qui définit les paramètres E1, E2 et E3), il régnait une belle cacophonie... du moins jusqu'à ce que l'ISO 360-2 vienne y mettre de l'ordre. Désormais, tous les fabricants ou presque fournissent la valeur de précision  $MPE_p$  de leurs machines sous la forme  $(x + L / y)$ , où L définit la longueur mesurée (en millimètres). A cette précision, on peut associer la répétabilité  $MPE_r$ , qui correspond théoriquement au premier terme de la formule.

Ces dernières années, des commandes numériques plus performantes et des solutions thermiques et géométriques particulières ont permis d'obtenir un premier terme proche du micromètre, voire inférieur au micromètre dans les modèles haut de gamme. Dans ce domaine, la palme revient à la PMM de Leitz (groupe Hexagon Metrology), au modèle UPMC de Zeiss et à la Legex de Mitutoyo. Le Cetim (Centre Technique des Industries Mécaniques) de Senlis, par exemple, s'est récemment équipé du modèle PMM, constitué d'une table mobile et d'un portique fixe, avec lequel il obtient une précision de  $1,2 \mu\text{m}$  pour une capacité de  $1\,200 \times 2\,400 \times 1\,000 \text{ mm}$ . Bien sûr, ce type de machines n'est pas le plus répandu. « Dans cet-

te gamme-là, il y a moins d'une trentaine de machines en France », souligne M. Durand.

Le critère de précision doit être relié à la **vitesse de déplacement** des axes de la machine. Comme ces deux éléments sont souvent antagoniques, les machines les plus rapides ne sont pas les plus précises. Chez Mitutoyo par exemple, la machine Legex offre une précision allant jusqu'à  $(0,35 + L/1\,000) \mu\text{m}$  et une vitesse d'"à peine"  $200 \text{ mm/s}$ , alors que les machines Mach et MachV offrent une précision de  $(2,5 + 3,5 L/1\,000) \mu\text{m}$  pour une vitesse supérieure à  $866 \text{ mm/s}$ . Mais cette antinomie n'est jamais vraiment problématique. Un modèle tel que la Legex est en effet destiné aux salles climatisées de métrologie, autrement dit pour un contrôle dans lequel la vitesse n'est pas un critère prépondérant, alors qu'une machine de type Mach est destinée à un contrôle en bord de ligne, pour lequel la vitesse de mesure est souvent plus importante que la précision du résultat...

Tout dépend aussi de la **structure** de la machine à mesurer. Il en existe principalement quatre : les machines à portique mobile, à pont mobile, à bras horizontal et à col de cygne. Les machines à portique mobile (constituées d'une table sur laquelle se déplace une structure en forme de U renversé) sont les plus répandues. Elles se caractérisent par une capacité importante et une bonne précision. En revanche, les contraintes qu'elles subissent dépendent du centre de gravité de la machine (et notamment de la position de l'axe ver-

tical sur le haut du portique). « Pour obtenir une meilleure rigidité et ne pas dépendre des contraintes engendrées par la position de l'axe vertical, on utilise alors une variante : la machine à portique fixe et table mobile », indique M. Peiniau. L'inconvénient, c'est qu'elle peut être jusqu'à deux fois plus chère qu'une machine à portique mobile...

Les machines à pont mobile (que l'on appelle aussi à pilier transverse ou gantry) ressemblent à un pont roulant sous lequel se trouve la pièce à contrôler. Elles acceptent donc des charges importantes, et offrent des capacités pouvant aller jusqu'à plusieurs mètres. La machine Lambda de DEA, par exemple, offre une course de mesure allant jusqu'à  $4\,000 \times 10\,000 \times 2\,500 \text{ mm}$ .

Autre type de structure, les machines à bras horizontal (ou broche horizontale) constituées d'une colonne mobile se déplaçant sur un banc fixe. « Comme les masses en mouvement sont beaucoup plus légères que dans les autres structures, ce type de machine offre des vitesses élevées, notamment sur de petits volumes. En revanche, la précision est inférieure », précise M. Peiniau. Les modèles à bras horizontal de la gamme Carb de Mitutoyo offrent ainsi une vitesse comprise entre  $519$  et  $866 \text{ mm/s}$  pour une précision de  $18 + 20 L/1\,000$ . Ils sont donc essentiellement destinés au contrôle de pièces volumineuses (telles que des carrosseries automobiles) en atelier.

Enfin, les machines à col de cygne (ou cantilever) sont constituées d'une table fixe et d'un pont sur lequel se déplace un bélier mobile. La structure présente donc un porte à faux, qui limite souvent la capacité de la machine. Pour donner un ordre d'idées, la machine Smart, lancée par Wenzel en 2003, offre une course de mesure comprise entre  $500 \times 450 \times 400$  et  $1\,000 \times 450 \times 400 \text{ mm}$ .

Les autres machines sont des modèles "hybrides" des précédentes. Elles peuvent être constituées d'un bras articulé, par exemple, ou même d'un portique et d'un plateau tournant, qui forme un "quatrième axe".

## Attention à la température

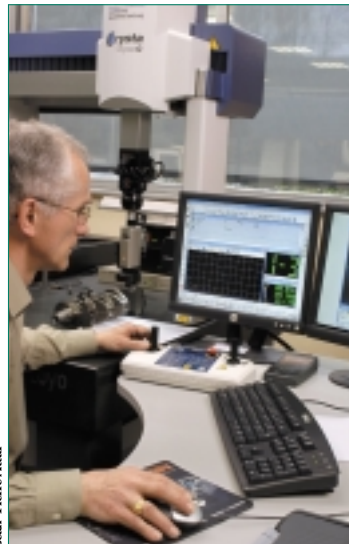
La plupart du temps (et à plus forte raison lorsque la machine est destinée à être utilisée en bord de ligne), il faut aussi considérer la **plage de température** dans laquelle la précision est garantie. Si l'on attend des précisions de l'ordre du micromètre, chaque degré a son importance. Les variations de température entraînent en effet la déformation de la machine (le bâti, les règles...) mais aussi celles de la pièce mesurée, et les variations ne sont pas forcément linéaires.

Lorsque la fourchette est serrée ( $20 \pm 0,5$  ou  $\pm 1^\circ\text{C}$ ), la machine est réservée aux salles cli-



Jean-Pierre Aital

L'application dicte le type de palpeur que l'on doit utiliser. Les palpeurs à contact sont les plus courants, mais il en trouve aussi des palpeurs laser ou des caméras, voire les trois à la fois pour contrôler les pièces les plus complexes.



Jean-Pierre Aital

Le logiciel de mesure a aussi son importance. Il permet notamment d'écrire ou de modifier la séquence de contrôle et de suivre en temps réel la progression des palpeurs. Certains offrent aussi des modules de programmation hors ligne.

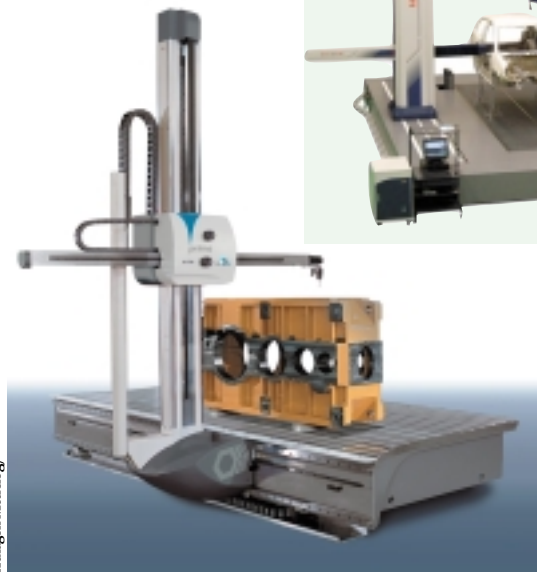


matées de métrologie. C'est le cas par exemple du modèle Marvision OMS de Mahr ou Video Check EA de Werth Messtechnik. Dans d'autres cas, la température se situe dans une plage plus ou moins large autour de 20 °C. Tout dépend pour cela des matériaux dont elle est constituée et des algorithmes de compensation thermique qui sont utilisés. Dans ce domaine, il y a deux stratégies : employer un matériau ou un alliage qui se déforme très faiblement en fonction de la température, ou au contraire un matériau doté d'une forte conductivité thermique et dont on compense les déformations en fonction de la température. Chez Hexagon Metrology, par exemple, on a choisi la deuxième approche. Les machines sont constituées d'un alliage d'aluminium qui offre une bonne conductivité thermique et un comportement homogène. Chez Mitutoyo aussi, « il n'y a plus que la table qui est en granit (pour des raisons de stabilité). Tout le reste est en aluminium », indique M. Peiniau.

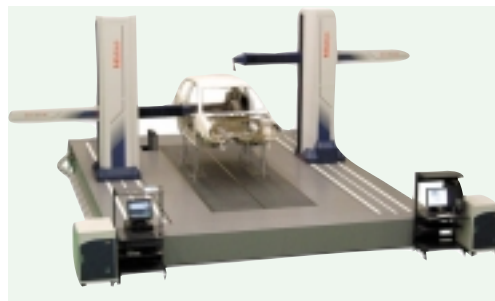
Le problème, selon lui, « c'est qu'il existe encore des clichés. De nombreux utilisateurs croient que le granit est une garantie de précision. Mais s'il donne l'impression d'être stable sur le moment, il va réagir avec 24 ou 48 heures de retard. Avec l'aluminium, au contraire, la température extérieure se diffuse très vite dans le matériau. On peut donc réagir instantanément pour compenser la déformation ». Ensuite, il y a le savoir-faire propre à chaque constructeur... La solution de compensation thermique Activ d'Hexagon Metrology, par exemple, met en œuvre un réseau de 16 capteurs (15 sur la machine et un sur la pièce) qui permettent de corriger en temps réel le fichier de compensation géométrique de la machine. Cette dernière peut ainsi être utilisée dans une très large gamme de température (de 10 à 35 °C). Chez Mitutoyo, chaque machine en fabrication passe 12 heures dans une étuve, où l'on fait varier la température entre 14 et 28 °C. Il en résulte une cartographie des déformations propre à chaque machine...

Mais attention tout de même à ne pas dresser de conclusions hâtives. « L'environnement thermique dans lequel travaille une machine ne se résume pas à une plage de température, insiste M. Durand. Il faut aussi connaître le gradient thermique spatial et le gradient thermique temporel dans lesquels la précision est garantie. Lorsqu'une machine fait trois mètres de haut, elle n'est pas forcément soumise à la même température sur toute sa hauteur... ».

Autre critère de choix, **la robustesse** de la machine à mesurer. Si elle est destinée à un environnement de production, il faut qu'elle soit protégée contre les poussières, les copeaux et les projections d'huile. Cela passe le plus souvent par la présence de capots de protection, par l'utilisation de guidages



Hexagon Metrology



Mitutoyo

Les machines à bras horizontal sont souvent utilisées dans les ateliers de production pour contrôler des pièces volumineuses (telles que des carrosseries automobiles).

linéaires sur roulements plutôt celle des traditionnels coussins d'air et, si nécessaire, par des dispositifs permettant de filtrer les vibrations.

## Des palpeurs pour toutes les applications

L'application dicte aussi **le type de capteurs** que l'on va trouver sur la machine. La plupart des MMT intègrent des palpeurs à contact point à point et/ou mesurants (suivant que l'on souhaite réaliser des mesures ponctuelles ou un scanning), mais certaines offrent également un laser, ou même un laser associé à une caméra. Le choix dépend notamment des éléments que l'on mesure (leur accessibilité, leur forme, etc.), de la vitesse et de la précision attendues. « Le capteur le plus précis est le palpeur de scanning utilisé en point à point, indique M. Peiniau. Le laser et la caméra sont des compléments, lorsqu'un élément est difficilement accessible pour un palpeur à contact, par exemple, ou lorsqu'on a besoin d'une analyse d'image pour le mesurer. Et pour les pièces les plus complexes, il est toujours possible d'utiliser une machine associant les trois ».

La plupart des machines du marché sont à **commande numérique**. Les machines manuelles, moins chères, sont utilisées pour des besoins plus ponctuels ou pour des applications plus spécifiques (dans l'enseignement ou pour les sociétés spécialisées dans la fabrication de prototypes, par exemple). Et pour les incertains, il existe toujours des machines manuelles évolutives en commande numérique...

**Le logiciel de mesure** associé à la machine a aussi son importance. Mais s'il importait, par le passé, de savoir s'il était propriétaire ou pas, cela n'est plus un critère de choix. Il existe désormais des interfaces permettant aux logiciels de différentes marques de communiquer entre eux, ou de dialoguer avec les commandes numériques d'autres fabricants. De nombreux constructeurs proposent ainsi un module capable de lire et d'écrire en DMIS, un langage théoriquement "standard" permettant d'échanger les programmes de mesure. On peut aussi utiliser des logiciels indépendants de tout constructeur (c'est le cas par exemple de Metrolog, de Metrologic Group).

Les logiciels de mesure diffèrent ensuite par un ensemble de fonctionnalités plus ou moins étendues : des modules de programmation "hors ligne", permettant de ne pas immobiliser la machine le temps d'élaborer les gammes de contrôle, des interfaces avec la CAO pour travailler sur des solutions entièrement numériques (depuis la conception de la pièce jusqu'à la préparation des gammes et les contrôles en fabrication), etc.

Enfin, « au-delà des caractéristiques purement techniques, il faut aussi prendre en compte le profil du constructeur qui propose la machine, ajoute M. Durand. Comme il s'agit d'investir dans un moyen de mesure qui dure plusieurs décennies, la pérennité de la société et les services qu'elle propose (en termes de conseil, de retrofit et de réajustage) sont des éléments déterminants ».

Marie-Line Zani