

SPÉCIAL
MESURES DIMENSIONNELLES

Les MMT se sont fait une place au plus près des lignes de production

Guide technique réalisé
par Cédric Lardière

Depuis une quinzaine d'années, les MMT sont sorties des locaux climatisés pour se rapprocher des lignes de production et répondre aux exigences des industriels en termes de réduction des temps de cycle et des coûts, etc.

À LIRE DANS CE DOSSIER

Les MMT se sont fait une place au plus près des lignes de production **38**

Aperçu de l'offre en MMT d'atelier **44**

Mesures dimensionnelles

Les MMT se sont fait une place au plus près des lignes de production

Depuis une quinzaine d'années, maintenant, les fabricants de machines à mesurer tridimensionnelles (MMT) proposent aussi des modèles pouvant être installés dans un atelier, au plus près des lignes de production. Si elles présentent des avantages non négligeables par rapport aux autres solutions de mesure 3D, les industriels doivent y regarder à deux fois avant d'investir dans ces MMT d'atelier, ou en ligne.



Cela n'étonnera personne que la recherche de la meilleure qualité possible des pièces fabriquées fasse partie des principaux défis auxquels sont confrontées les entreprises industrielles. Il existe différentes stratégies mises en œuvre ces dernières décennies par les industriels pour atteindre cet objectif, et l'intégration de moyens de mesure au plus près de la production en est l'une d'entre elles. Dans le domaine de la mécanique, cela s'est traduit par l'apparition et le déploiement d'une offre de machines à mesurer tridimensionnelles (MMT ; *Coordinate Measuring Machines* ou CMM en anglais) dites d'atelier. « L'expression "en atelier" (une machine censée travailler dans un atelier) est trop vague, précise d'emblée Bruno Vetticoz, directeur de Werth France. Je parlerais plutôt soit d'une machine installée dans une enceinte climatisée au cœur d'un atelier, soit d'une machine de contrôle en ligne, c'est-à-dire réellement dans le flux de production, supportant les conditions d'un atelier et sans intervention de personnels. » Derrière la désignation de machines à mesurer 3D destinées à l'atelier – on peut également utiliser l'expression « en ligne » – se cache en fait une grande va-

riété de technologies et de solutions. « Il y a encore aujourd'hui beaucoup de personnes qui, quand on leur parle de MMT, pensent d'abord à une MMT à portique et à palpage », poursuit Bruno Vetticoz. « Mais, une MMT étant un équipement dont la fonctionnalité est le contrôle dimensionnel, tout appareil de mesure dimensionnel entre dans ce cadre-là. Les machines peuvent donc être de toutes sortes et de tout un tas de technologies diverses », rappelle Mathieu Le Saux, responsable Applications et Services CMM et Gauging Systems chez Renishaw France. Et Mickaël Cichonski, responsable applications chez Zeiss France, d'énumérer une liste (non exhaustive) de technologies : « À côté de la MMT "traditionnelle" (le modèle à portique et à palpage tactile), on trouve des machines à bras horizontal, pour la mesure de carrosserie, par exemple, des MMT dotées d'outils pour le "palpage" sans contact et/ou la mesure de rugosité, des machines optiques par caméras, etc. » Et la grande famille des machines 3D peut encore regrouper les bras de mesure, les systèmes de scanning 3D, etc., même si, là, on s'éloigne quand même des MMT d'atelier « traditionnelles » – cet article se concentre sur ce type de machines uniquement.

Plusieurs raisons au déploiement des MMT d'atelier

L'apparition des premières machines développées spécifiquement pour l'atelier remonte à une quinzaine d'années. « Au paravant, il y a une vingtaine d'années, les entreprises réalisaient beaucoup moins de mesures en atelier qu'aujourd'hui, parce qu'ils se fiaient plus à la capacité de leurs machines-outils. Quand un industriel fabrique une pièce, il est obligé, maintenant, de vérifier la conformité de ce que la machine-outil a produit, et ce même si la machine-outil permet de contrôler la pièce avec des palpeurs de mesure embarqués. On ne peut en effet pas être juge et partie », rappelle Bruno Lefebvre, directeur général de Mitutoyo France.

D'autres raisons sont avancées, comme le résume Mickaël Cichonski (Zeiss France) : « Dans le cadre de l'industrie 4.0, tous nos clients cherchent à réduire les temps de cycle et leurs coûts, et veulent contrôler leurs procédés de production. Pour cela, la plupart du temps, les entreprises installent une MMT au pied d'un centre d'usinage, par exemple, pour contrôler les pièces à différentes étapes de la production et, non plus, seulement, en fin de ligne (contrôle qualité). Nos clients, en particulier ceux qui ont



© Renishaw

«Pour l'atelier» signifie que l'équipement a été conçu pour endurer les conditions environnementales de l'atelier, tout en maîtrisant les incertitudes de mesure associées.

des temps de cycle de plusieurs mois, comme dans l'aéronautique, essaient d'anticiper les éventuels problèmes en les identifiant le plus tôt possible. »

Ce qui fait dire à Mathieu Le Saux (Renishaw France) qu'« il s'agit également d'éviter les rebuts pour les pièces à forte valeur ajoutée (pièces médicales, aubes de turbine, pièces mécaniques avioniques, stators de moteurs électriques...) ou de réduction des déchets, via des actions rapides sur la production, pour les grands volumes de production ». Tous les secteurs industriels sont donc susceptibles d'être intéressés, des équipementiers automobiles et autres acteurs produisant en grandes séries jusqu'à des PME privilégiant une MMT en atelier à un modèle de laboratoire, pour des raisons de coûts, par exemple.

Au-delà d'anticiper les éventuels défauts, il s'agit aussi, pour les industriels, de bénéficier de gains de temps. Un client qui installe une MMT sur une chaîne robo-

tisée, par exemple, n'aura plus besoin d'opérateurs au pied de la machine. Et les pièces poursuivent leurs cycles machine par machine ou étape par étape de fabrication. Ce que confirme Frédéric Thorat, commercial MMT Sud-Est chez Hexagon Manufacturing Intelligence France, en ajoutant que « c'est plutôt nous, fabricants, qui avons répondu, aux alentours de 2010, à la demande de clients de mesurer directement dans l'atelier. Nous avons déjà, depuis des décennies, la maîtrise technologique d'éléments permettant de rendre plus robustes les MMT. »

Christian Verney, responsable d'activité du pôle Métrologie et de l'équipe de Saint-Étienne du Centre technique des industries mécaniques (Cetim), pointe enfin une dernière raison au déploiement des MMT d'atelier : « Les MMT de laboratoire sont utilisées à la fois pour l'industrialisation des produits, le contrôle des composants en entrée – les entreprises ont parfois des problèmes de qualité ou de conformité des composants achetés – et les contrôles intermédiaires et final du produit. Il arrive alors souvent que la MMT de laboratoire soit saturée et devienne un goulot d'étranglement.

Le déploiement de machines d'atelier permet donc de fluidifier les flux et de redonner tout leur potentiel aux MMT de laboratoire. »

Des machines aux protections mécaniques renforcées

Avant tout, il est peut-être judicieux de rappeler ce qu'on entend par machine à mesurer tridimensionnelle. C'est une machine capable de mesurer selon trois axes (X, Y et Z) en relevant un ensemble de points sur une pièce, grâce à différentes technologies. Ces points sont ensuite traités par un logiciel de telle manière à numériser la pièce ou à caractériser ses dimensions. C'est le principe de fonctionnement de base d'une machine à mesurer tridimensionnelle, qu'elle soit d'atelier ou de laboratoire.

D'aucuns peuvent se demander ce qui distingue une MMT d'atelier, ou en ligne, d'une MMT de laboratoire. « «Pour l'atelier» signifie que l'équipement a été conçu pour endurer les conditions environnementales de l'atelier, tout en maîtrisant les incertitudes de mesure associées », indique Mathieu Le Saux (Renishaw France). Le travail des ...



© Hexagon

Les vibrations dans un atelier peuvent être suffisamment importantes pour faire bouger le capteur embarqué sur une machine 3D, ce qui se traduit par une mauvaise mesure sans l'utilisation d'amortisseurs actifs antivibrations.

... fabricants porte en effet surtout sur la robustesse des machines de mesure. « Il faut forcément les protéger davantage contre les variations de température et la poussière [la pollution dans l'air, NDLR], parce que des glissières couvertes de poussières ou d'huile – les opérateurs posent parfois leurs mains dessus – ne doivent pas venir dégrader les caractéristiques métrologiques au bout de trois jours seulement d'utilisation », affirme Christian Verney (Cetim). Frédéric Thorat (Hexagon Manufacturing Intelligence France) confirme en précisant que « les vibrations dans un atelier peuvent être suffisamment importantes pour faire bouger le capteur embarqué sur une machine 3D, ce qui se traduit par une mauvaise mesure. Il existe des options consistant en des amortisseurs actifs antivibrations, en fait des coussins d'air situés sous la machine et permettant d'absorber les vibrations. Quant à l'humidité relative, elle ne pose pas de gros problème en France, même si les éléments en granit d'une MMT peuvent quand même y être sensibles. La lumière peut avoir une influence, mais il n'y a pas d'autre solution que de la masquer aujourd'hui. » Les fabricants de MMT ont donc rivalisé d'ingéniosité pour développer divers composants permettant

de rendre plus robustes leurs modèles en ligne. « Les organes mécaniques les plus importants sont les guidages : ce sont des patins d'air, ou coussins d'air, sur les MMT de laboratoire, mais ce sont des guidages linéaires. Il est également possible de "carteriser" les machines avec des soufflets de protection, par exemple, et les règles et les têtes de lecture sont, elles aussi, différentes entre les machines de laboratoire et d'atelier. Ces dernières se rapprochent des machines-outils qui sont moins sensibles à la poussière, aux particules d'huile pouvant flotter dans l'atelier, etc. », décrit Mickaël Cichonski (Zeiss France). Même si la partie mécanique est le facteur le plus limitant dans une MMT d'atelier, les fabricants ne négligent pas d'améliorer également l'électronique et la partie logicielle. « Le traitement des signaux, la fréquence à laquelle ils sont capturés, la commande numérique, etc. sont autant de facteurs d'amélioration. C'est vraiment la combinaison des trois parties, mécanique, électronique et logicielle », insiste Mickaël Cichonski. « La conception et les algorithmes de calcul appliqués lors des mesures assurent une maîtrise de l'environnement, donc une maîtrise des incertitudes de mesure », ajoute Mathieu Le Saux (Renishaw France).

Des compensations en température essentielles

Les différentes parades mécaniques pour protéger les MMT de l'environnement des ateliers ne sont pas très utiles en ce qui concerne l'influence de la température, et plus précisément des variations de température, sur les incertitudes de mesure. Les MMT de laboratoire, elles, sont installées dans des locaux aux conditions ambiantes parfaitement contrôlées afin de garantir leurs excellentes performances métrologiques. Avec les machines en ligne, il n'en est rien. Il peut arriver que des MMT subissent des variations de température d'une dizaine de degrés Celsius en un jour, entre une température de +18 °C, la nuit, et +27 °C, en pleine après-midi.

Les MMT de type atelier permettent de s'affranchir de toutes les contraintes environnementales requises par les MMT "classiques", en étant capables de fonctionner dans des plages de température plus grandes. « Notre MMT MiSTAR 555, par exemple, peut fonctionner entre +10 °C et +40 °C, mais l'incertitude de mesure n'est pas la même à +40 °C qu'à +20 °C. Cela est rendu possible par une compensation en température, avec des sondes de température installées dans la machine et sur la pièce à mesurer », explique Bruno Lefebvre (Mitutoyo France). « Sans corrections de la température, on mesurerait la dilatation de la machine en fonction de la température, et non pas la pièce elle-même. Et les capteurs de température embarqués doivent, eux aussi, résister à l'environnement de l'atelier », indique Bruno Vetticoz (Werth France). Cela implique de connaître et de saisir le coefficient de dilatation de la matière, ou des matières, dont est faite la pièce. « Les fabricants de MMT ont par ailleurs fait beaucoup de progrès dans la maîtrise de la déformation géométrique de leurs machines », constate Christian Verney (Cetim). L'incertitude de mesure d'une machine est alors mentionnée par la MPE (*Maximum Permissible Error*), qui est exprimée de la manière suivante, pour différentes plages de température (valeurs de la Tigo SF de Hexagon Manufacturing Intelligence ; L en millimètre) : $(2,2 + L/300) \mu\text{m}$ entre

+18 °C et +22 °C ($2,5 + L/250$) μm entre +16 °C et +26 °C et ($2,7 + L/200$) μm entre +15 °C et +32 °C, voire même ($3,7 + L/100$) μm entre +15 °C et +40 °C. Frédéric Thoral (Hexagon Manufacturing Intelligence France) fait toutefois remarquer que « n'importe quelle machine pourrait être installée dans un atelier. Nous proposons d'ailleurs des options pour rendre certaines de nos MMT de laboratoire compatibles avec l'environnement d'un atelier (des carters supplémentaires pour protéger les zones de glissement du portique, par exemple). Les modèles dédiés à l'atelier sont aussi, un peu, du marketing commercial. »

Les MMT en ligne recèlent d'autres points forts

Au-delà de la robustesse plus élevée, les MMT d'atelier ligne affichent d'autres avantages, et notamment ceux des MMT « classiques ». « Qu'elles soient manuelles ou à commande numérique (CN), les MMT ont toujours apporté une grande polyvalence comparée à des systèmes de contrôle dédiés et aux autres techniques », rappelle Bruno Vetticoz (Werth France). Et cette polyvalence n'a cessé de s'accroître au fil des années avec la disponibilité de nouveaux types

de palpeurs et de nouvelles technologies. « Une MMT est également plus économique, sur le long terme, que l'investissement dans une multitude d'appareillages pour mesurer des pièces en petites quantités », ajoute Bruno Vetticoz. Ou plus économique qu'une MMT de laboratoire, puisque l'installation d'une MMT en ligne ne nécessite pas une infrastructure lourde et onéreuse, comme la construction d'une salle climatisée. « La climatisation n'est pas celle de bureaux : ses caractéristiques doivent être stables, il y a des gradients de température à respecter, etc. Et l'entreprise doit également, bien souvent, pousser les murs pour accueillir un tel local », souligne Mickaël Cichonski (Zeiss France).

Et Frédéric Thoral (Hexagon Manufacturing Intelligence France) de renchérir : « Ne serait-ce que climatiser un local de métrologie, cela coûte plusieurs dizaines de milliers d'euros. On ne retrouve pas un tel écart de prix entre un modèle d'atelier et un modèle de laboratoire, ce qui peut intéresser les petites entreprises. Une machine 3D présente aussi un avantage financier face à une cellule automatique constituée d'un robot. » Autre avantage, les MMT d'atelier sont compactes, un critère essentiel lorsqu'on les doit intégrer dans une ligne de production, ou en bord de ligne. Quant aux limitations des MMT d'atelier, il y a donc, évidemment, des incertitudes de mesure moins bonnes, même si c'est tout relatif par rapport à d'autres moyens de mesure. « Aujourd'hui, la mesure avec une précision inférieure au micron n'est pas possible dans l'atelier, sauf à mettre une MMT, de laboratoire ou d'atelier, dans une cabine spécifique, dans laquelle la machine se trouve dans un environnement climatisé », indique Frédéric Thoral (Hexagon Manufacturing Intelligence France). Mais les incertitudes de mesure proposées par une MMT en ligne sont bien souvent suffisantes pour les besoins d'une grande majorité des entreprises. « Il n'y aura aucune incidence, pour un fondeur travaillant avec des ●●●

Les MMT d'atelier permettent de s'affranchir de toutes les contraintes environnementales requises par les MMT « classiques », en étant capables de fonctionner dans des plages de température plus grandes.

NEUF QUESTIONS POUR UN CHOIX ÉCLAIRÉ

- 1 Pour quelles raisons l'entreprise souhaite-t-elle investir dans une MMT (suivi de procédé ou métrologie) ?
- 2 Quel est le niveau d'incertitude de mesure recherché ?
- 3 Quelles sont les dimensions des pièces à contrôler afin de déterminer l'étendue de mesure ou le volume maximum de mesure ?
- 4 Où sera installée la MMT (en ligne, dans l'atelier, dans un local particulier) ?
- 5 Quelles sont les caractéristiques de l'environnement dans l'atelier, ou au niveau de la ligne de production (variations de température, vibrations, poussière...) ?
- 6 Parmi les autres caractéristiques, est-ce que la machine est manuelle ou automatique, est-ce qu'elle doit être connectée à d'autres systèmes, est-ce qu'un logiciel spécifique est nécessaire (mesures sur des engrenages, par exemple), etc. ?
- 7 Quelles sont les ressources humaines à mettre en face (un opérateur formé dans le cas d'une machine manuelle ou une personne pour faire les programmes d'une machine automatique) ?
- 8 De quels services l'entreprise aura-t-elle besoin ? Et quel est le coût des services, en particulier celui de prestations de programmation et de l'étalonnage - le coût de possession ne doit pas être trop élevé ?
- 9 Quel est le budget disponible, sachant que le coût d'une machine d'atelier s'étend de 50 000 euros à 500 000 euros, selon la taille et l'architecture de la machine, les capteurs associés, voire bien plus dans le cadre de projets ?



... tolérances de l'ordre du dixième de millimètre, entre une machine précise à trois microns et une autre précise à un micron, prend comme exemple Mickaël Cichonski (Zeiss France). Par contre, la question se posera pour des pièces avec des tolérances très serrées, parce que l'on ne pourra pas utiliser de MMT d'atelier. »

Des logiciels dotés d'interfaces dédiées

Toutes ces caractéristiques sont le résultat de développements continus depuis, donc, une quinzaine d'années, mais les fabricants de MMT en ligne poursuivent leurs efforts d'améliorations sur la précision, les vitesses de mesure, la robustesse, les sondes de température, l'ergonomie, la consommation en air (qui se situe entre 100 et 250 l/min), etc. Pour pallier les difficultés de trouver des personnels compétents rencontrées par les entreprises, les logiciels des MMT d'atelier ont fait de gros progrès. « Les logiciels de MMT sont de très haut niveau aujourd'hui, quel que soit le constructeur. Ces derniers ont donc conçu des outils avec des interfaces dédiées plus simples, facilitant ainsi la vie des opérateurs. Mais faut-il encore qu'ils soient formés à l'utilisation de la machine, surtout pour une machine manuelle, et qu'ils aient un ver-



Une MMT d'atelier est également plus économique, sur le long terme, que l'investissement dans une multitude d'appareillages pour mesurer des pièces en petites quantités.

nis en métrologie pour être autonomes », rappelle Christian Verney (Cetim). « Il est possible de mettre des photographies et des instructions directement à l'exécution (comment installer la pièce, par exemple). Par contre, la programmation reste encore aujourd'hui un autre sujet », poursuit Frédéric Thoral (Hexagon Manufacturing Intelligence France). Mitutoyo propose d'ailleurs le générateur de gammes de mesure pour MMT MiCAT Planner. « À partir du modèle CAO d'une pièce, notre logiciel crée automatiquement la programmation (les déplacements de la machine, la gestion des palpeurs, la gamme de contrôle), avec

une gestion des règles de programmation (ex. mesure d'un cercle en six points avec un filtre gaussien ...), et la prise en compte de la cotation si le modèle la contient (PMI). C'est un gain de temps et de simplification énorme », affirme Bruno Lefebvre (Mitutoyo France). Toutes les personnes interrogées s'accordent sur le fait que la demande en MMT d'atelier va continuer à augmenter, d'autant plus que les machines à mesurer tridimensionnelles se rapprochent encore un peu plus de la ligne de production. « La tendance actuelle et future est vraiment à une mesure en ligne, automatique, sans temps masqué, parce que nous sommes dans l'ère 4.0. À côté des industriels de l'aéronautique, les constructeurs de batteries électriques créent, aujourd'hui, des gigafactories dans lesquelles tout est automatisé pour atteindre des cadences très élevées. Et d'autres industriels voudront y venir », affirme Mickaël Cichonski (Zeiss France).

Le contrôle dans une machine-outil a ses limites

Et l'automatisation va encore plus loin. « Il est en effet possible de disposer de boucles de rétroaction sur les machines-outils pour corriger en temps réel leurs paramètres. La traçabilité, à



Les fabricants ont conçu des outils avec des interfaces dédiés plus simples, facilitant ainsi la vie des opérateurs. Mais faut-il encore qu'ils soient formés à l'utilisation de la machine pour être autonomes.

savoir le traitement de données, les statistiques, le stockage de données, le retour pour l'amélioration de la conception, etc., est d'ailleurs un élément de plus en plus important dans l'industrie », constate Bruno Lefebvre (Mitutoyo France). Évidemment, ce genre d'applications avec boucles de rétroaction requiert une organisation particulière au niveau de l'entreprise. Soit un opérateur charge l'ensemble des pièces dans un magasin et lance l'exécution des mesures pour qu'un robot puisse travailler tout un week-end. Soit les pièces sont prélevées en bord de ligne et acheminées directement sur la MMT dans le cadre d'un cycle de production. Pour Mathieu Le Saux (Renishaw France), « les industriels aimeraient pouvoir "faire du contrôle final" dans leurs machines-outils afin d'éviter de débrider/brider les pièces et, donc, de relâcher les contraintes

de la pièce. Ce serait possible dans un monde parfait, mais les machines-outils ont aussi des défauts géométriques. Le palpeur mis à la place de l'outil aura donc le même défaut que celui de l'outil. La pièce sera alors considérée comme bonne, alors que ce ne sera pas le cas. Il y a encore d'autres contraintes, comme la présence de divers fluides à l'intérieur d'une machine-outil, qui vont perturber la mesure ». Sans oublier, là non plus, la formation en métrologie des techniciens chargés des opérations d'usinage. Christian Verney (Cetim) cite une autre limitation : « Le fait de devoir arrêter la machine-outil pendant des minutes pour faire du contrôle, alors que les responsables de production comptent les secondes. Aujourd'hui, plus on emmène des phases d'usinage sur une seule machine, mieux c'est,

parce que cela permet de limiter des phases de production coûteuses. Mais en contre-partie, le contrôle devient beaucoup plus complexe. » « De plus en plus de machines seront implémentées sur les lignes de production, le but de l'industrie 4.0 étant de rendre les productions de plus en plus autonomes. Les MMT d'atelier permettent de contrôler les pièces, sans les sortir du flux de production, les dérives de production grâce à l'analyse statistique, la casse ou l'usure des outils grâce au traitement instantané des mesures et aux ajustements des machines-outils à l'aide des renvois de corrections. Et cela permet enfin de libérer du temps aux opérateurs pour qu'ils se concentrent sur des tâches à valeur ajoutée », conclut Mathieu Le Saux (Renishaw France) ●



Mitutoyo

SOLUTIONS DE MESURE DIMENSIONNELLE POUR L'USINE CONNECTÉE

Aperçu de l'offre en MMT d'atelier

FABRICANT (DISTRIBUTEUR)	MODÈLE	STRUCTURE	ÉTENDUE DE MESURE (X, Y, Z)	VOLUME MAX. (X, Y, Z)	JUSTESSE VOLUMÉTRIQUE MIN.	RÉSOLUTION	VITESSE MAX.	ACCELERATION MAX.	CHARGE MAX.	PLAGE DE TEMPÉRATURE	
Aberlink	Axiom too CNC CMM	Pont	640 mm, 600, 900 ou 1200 mm, 500 mm	1040 mm, 900, 1200 ou 1500 mm, 2 320 mm	(2,1 + L/250) µm	0,5 µm	600 mm/s	600 mm/s ²	300 ou 500 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)	
	Axiom too HS CMM	Pont	640 mm, 600, 900 ou 1200 mm, 500 mm	1040 mm, 900, 1200 ou 1500 mm, 2 320 mm	(1,8 + L/250) µm	0,1 µm	866 mm/s	1200 mm/s ²	300 ou 500 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)	
	Axiom too Manual CMM	Pont	640 mm, 600, 900 ou 1200 mm, 500 mm	1040 mm, 900, 1200 ou 1500 mm, 2 320 mm	(2,4 + L/250) µm	0,5 µm	n. s.	n. s.	300 ou 500 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)	
	+ Infos complémentaires : Machine automatique ou manuelle (Axiom too Manual CMM), structure alvéolaire en aluminium et granit, entraînement par courroie ou entraînement par tige (Axiom too HS CMM), consommation d'air de 100 l/min, palpeur tactile, sonde de scanning continu, capteur optique, etc., logiciel de mesure Aberlink 3D...										
	Extol 370 CNC CMM	Delta	370 mm, 270 mm (Ø x H)	730 mm, 715 mm, 2000 mm	(2,3 + L/250) µm	0,1 µm	500 mm/s	750 mm/s ²	200 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)	
Extol 520 CNC CMM	Delta	520 mm, 300 mm (Ø x H)	990 mm, 950 mm, 2 200 mm	(2,3 + L/250) µm	0,1 µm	500 mm/s	750 mm/s ²	200 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)		
+ Infos complémentaires : Machine automatique, structure en granit, entraînement par courroie (paliers linéaires), logiciel de mesure Aberlink 3D...											
Bruker Alicona	µCMM	Pont	n. s.	310 mm, 310 mm, 310 mm	(0,6 + L/600) µm	n. s.	100 mm/s	n. s.	30 kg	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Mesures tactile et optique (surface), consommation d'air de 80 NI/min, 960 x 1109 x 1958 mm et 1250 kg, logiciel MetMax...										
Coord3 Metrology (MCE Metrology)	Ares	Pont	1900 mm, 880 mm, 650 mm	n. s.	(2,0 + L/300) µm	0,1 µm	517 mm/s	1730 mm/s ²	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +16 à +26 °C)	
	Benchmark	Pont	600 mm, 500 mm, 500 mm	n. s.	(2,3 + L/333) µm	0,1 µm	500 mm/s	1500 mm/s ²	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +16 à +26 °C)	
	Kronos	Pont	5 000 mm, 2 000 mm, 1500 mm	n. s.	(3,6 + L/250) µm	0,1 µm	n. s.	n. s.	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +16 à +26 °C)	
	Universal	Pont	5 000 mm, 2 000 mm, 1500 mm	n. s.	(1,5 + L/333) µm	0,1 µm	866 mm/s	1500 mm/s ²	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +16 à +26 °C)	
+ Infos complémentaires : Machine automatique ou manuelle (Ares et Benchmark), capteurs (selon le modèle), consommation d'air de 90 NI/min (Benchmark), 100 NI/min ou 160 NI/min (Kronos)...											
Erowa	CMM Qi	Pont	600 mm, 700 mm, 500 mm	n. s.	(1,5 + L/500) µm ou (0,7 + L/500) µm	n. s.	n. s.	n. s.	650 kg	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Machine automatique, table tournante (option), 2 100 x 1 500 x 2 700 mm et 2 350 kg...										
Fratelli Rotondi	Aster 3d 400	Col de cygne	400 mm, 350 mm, 300 mm	n. s.	(2,8 + 3L/1000) µm	0,1 µm	230 mm/s	n. s.	120 kg	n. s.	
	Aster 3d 500	Col de cygne	500 mm, 400 mm, 300 mm	n. s.	(2,8 + 3L/1000) µm	0,1 µm	230 mm/s	n. s.	180 kg	n. s.	
	Aster 3d 650	Col de cygne	650 mm, 550 mm, 500 mm	n. s.	(2,8 + 3L/1000) µm	0,1 µm	230 mm/s	n. s.	210 kg	n. s.	
+ Infos complémentaires : Machine automatique ou manuelle, consommation d'air de 100 NI/min ou 120 NI/min (Aster 650), 1150 x 1 090 x 2 120 mm et 360 kg (Aster 400), 1400 x 1190 x 2 220 mm et 600 kg (Aster 500) ou 1700 x 1500 x 2 500 mm et 1400 kg (Aster 650)...											

Aperçu de l'offre en MMT d'atelier

FABRICANT (DISTRIBUTEUR)	MODÈLE	STRUCTURE	ÉTENDUE DE MESURE (X, Y, Z)	VOLUME MAX. (X, Y, Z)	JUSTESSE VOLUMÉTRIQUE MIN.	RÉSOLUTION	VITESSE MAX.	ACCELERATION MAX.	CHARGE MAX.	PLAGE DE TEMPÉRATURE
Hexagon Manufacturing Intelligence (1)	Tigo SF	Portique	500 mm, 580 mm, 500 mm	n. s.	(2,2 + L/300) µm	n. s.	520 mm/s	1750 mm/s ²	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +15 à +40 °C)
	+ Infos complémentaires : Capteurs de palpae et de scanning, mode Fly2, mode Eco, 1266 x 1110 x 2 414 mm...									
LK Metrology	Alto	Portique	n. s.	600 mm, 500 mm, 500 mm	(2,5 + 3,0L/1000) µm	2,3 µm ⁽²⁾	500 mm/s	1500 mm/s ²	n. s.	n. s.
	+ Infos complémentaires : Machine accessible de trois côtés, structure en aluminium...									
Mitutoyo	MACH-3A 653	n. s.	600 mm, 500 mm, 280 mm	n. s.	(2,2 + 0,35L/100) µm	0,1 µm	1212 mm/s	11 882 mm/s ²	200 kg	+5 à +40 °C
	MACH Ko-Ga-Me	n. s.	120 mm, 120 mm, 80 mm	n. s.	(2,4 + 5,7L/100) ×m	0,02 µm	340 mm/s	6 750 mm/s ²	36 kg	+10 à +35 °C
	MACH-V9106	n. s.	900 mm, 1000 mm, 600 mm	n. s.	(2,5 + 0,35L/100) µm	0,1 µm	866 mm/s	8 770 mm/s ²	150 kg	+5 à +35 °C
	MiSTAR 555	Portique	570 mm, 500 mm, 500 mm	n. s.	(2,2 + 0,3L/100) µm	0,1 µm	606 mm/s	2 695 mm/s ²	120 kg	+10 à +40 °C
	+ Infos complémentaires : Machine automatique à broche horizontale (MACH-3A) ou verticale (MACH-V), machine avec support standard, montée sur support dédié ouo intégrée dans une ligne de production (MACH Ko-Ga-Me), logiciels MCosmos et/ou MiCAT Planner (MiSTAR 555)...									
Mora Metrology (Inspect 3D)	Pico	Portique	600 ou 1000 mm, 500 mm, 400 mm	n. s.	(3 + L/300) ×m	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	+ Infos complémentaires : Capteurs tactile et à scanning, logiciel Inca3D...									
Renishaw	Agility S	Pont	1 200 mm, 2 000 mm, 900mm	n. s.	(0,95 + L/280) µm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.
	+ Infos complémentaires : Multi-capteur 5 axes Revo, logiciel Modus, 6 780 kg...									
	Equator 300	Delta	300 mm, 150 mm (Ø x H)	n. s.	n. s.	2 µm ⁽³⁾	500 mm/s	n. s.	25 kg	+5 à +50 °C
	Equator 500	Delta	500 mm, 250 mm (Ø x H)	n. s.	n. s.	2 µm ⁽³⁾	n. s.	n. s.	100 kg	+5 à +50 °C
+ Infos complémentaires : Machine automatique, logiciels Organiser et Modus, version Extended Height (205 mm au lieu de 55 mm), 570 x 500 x 700 mm et 25 kg...										
Schneider Messtechnik	TMM 600	Pont	600 mm, 800 mm, 600 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	300 kg	n. s.
	TMM 1000	Pont	1 000 mm, 2 000 mm, 800 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	300 kg	n. s.
	+ Infos complémentaires : Machine reconditionnée, capteur tactile, logiciel de mesure 3D U-Soft Solid Ultra...									



Aperçu de l'offre en MMT d'atelier

FABRICANT (DISTRIBUTEUR)	MODÈLE	STRUCTURE	ÉTENDUE DE MESURE (X, Y, Z)	VOLUME MAX. (X, Y, Z)	JUSTESSE VOLUMÉTRIQUE MIN.	RÉSOLUTION	VITESSE MAX.	ACCÉLÉRATION MAX.	CHARGE MAX.	PLAGE DE TEMPÉRATURE	
Thome Präzision	Rapid-Plus	Pont	800 mm, 1500 mm, 700 mm	n. s.	(1,9 + L/350) µm	0,5 µm	1000 mm/s	400 mm/s ²	900 kg	+15 à +28 °C	
	Smart	Pont	800 mm, 600 mm, 280 mm	n. s.	(3,0 + L/250) µm	0,5 µm	n. s.	n. s.	300 kg	+15 à +28 °C	
	Teta	Pont	1100 mm, 2200 mm, 1000 mm	n. s.	(3,1 + L/350) µm	0,5 µm	540 mm/s	400 mm/s ²	2300 kg	+15 à +28 °C	
	+ Infos complémentaires : Machine automatique ou manuelle (Smart), consommation d'air de 25 l/min ou 35 l/min (Teta), jusqu'à 2 260 x 1 371 x 2 850 mm et 2 700 kg (Rapid-Plus), 1 215 x 960 x 1 845 mm et 730 kg (Smart) ou 3 500 x 2 100 x 3 750 mm et 6 500 kg (Teta)...										
Vision Engineering	Deltron 370	Delta	370 mm, 270 mm (Ø x H)	715 mm, 730 mm, 2000 mm	(2,6 + 0,4L/100) µm	0,1 µm	500 mm/s	750 mm/s ²	200 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)	
	Deltron 520	Delta	520 mm, 300 mm (Ø x H)	950 mm, 990 mm, 2200 mm	(2,6 + 0,4L/100) µm	0,1 µm	500 mm/s	750 mm/s ²	200 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +5 à +45 °C)	
+ Infos complémentaires : Machine automatique, table en granit, logiciel ViTouch3D, 180 ou 211 kg...											
Wenzel	SF 55	Pont	500 mm, 500 mm, 500 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	200 kg	n. s.	
	SF 87	Pont	800 mm, 700 mm, 700 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	300 kg	n. s.	
	SF 1210	Pont	1200 mm, 1500 mm, 1000 mm	n. s.	(3,9 + L/300) µm	n. s.	520 mm/s	1000 mm/s ²	1000 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +18 à +28 °C)	
+ Infos complémentaires : Machine automatique, table en granit, capteur optique (option ; SF 55), multi-capteurs tactile et optique, consommation d'air de 100 l/min (SF 1210), 1 730 x 1 440 x 2 555 mm et 980 kg (SF 55), 2 130 x 1 560 x 2 890 mm et 1 850 kg (SF 87) ou 2 976 x 2 362 x 3 728 mm et 6 800 kg (SF 1210)...											
Werth	ScopeCheck FB-DZ	Pont	n. s.	1500 ou 1630 mm, 1000 mm, 350 mm	(1,9 + L/250) µm	0,1 µm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Capteur optique et palpeur mécanique (double axe Z)...										
	ScopeCheck S	Col de cygne	n. s.	300 ou 400 mm, 200 mm, 200 mm	(3,9 + L/75) µm	0,1 µm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Machine automatique, multi-capteurs...										
	ScopeCheck V	n. s.	n. s.	250 mm, 800 mm (Ø x H)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Machine à conception verticale...										
	VideoCheck FB	Pont	n. s.	3500 mm, 1750 mm, 1000 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Multi-capteurs...										
	VideoCheck FB-DZ	Pont	n. s.	2000 mm, 1350 mm, 800 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	
	+ Infos complémentaires : Multi-capteurs, 3 400 x 3 100 x 3 800 mm...										
VideoCheck S	Col de cygne	n. s.	400 mm, 200 mm, 200 mm	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		
+ Infos complémentaires : Machine automatique, multi-capteurs...											
VideoCheck V-HA	n. s.	n. s.	200 mm, 500 mm (Ø x H)	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.	n. s.		
+ Infos complémentaires : Machine à conception verticale...											

Aperçu de l'offre en MMT d'atelier

FABRICANT (DISTRIBUTEUR)	MODÈLE	STRUCTURE	ÉTENDUE DE MESURE (X, Y, Z)	VOLUME MAX. (X, Y, Z)	JUSTESSE VOLUMÉTRIQUE MIN.	RÉSOLUTION	VITESSE MAX.	ACCÉLÉRATION MAX.	CHARGE MAX.	PLAGE DE TEMPÉRATURE	
Zeiss	DuraMax	Portique	n. s.	500 mm, 500 mm, 500 mm	(2,4 + L/300) µm	n. s.	300 m/s	1 700 mm/s ²	100 kg	+18 à +30 °C (jusqu'à +15 à +40 °C)	
	+ Infos complémentaires : Machine automatique et manuelle, version DuraMax HTG, logiciel Calypso, 1 080 x 1 360 x 1 803 mm...										
	MMZ G	Pont	6 000 mm, 6 000 mm, 1 200 mm	6 548 mm, 1 935 mm, 510 mm	(2,2 + L/400) µm	n. s.	320 m/s	350 mm/s ²	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +10 à +35 °C)	
	MMZ M	Pont	3 000 mm, 6 000 mm, 2 000 mm	3 285 mm, 2 675 mm, 350 mm	(2,2 + L/400) µm	n. s.	500 mm/s	500 mm/s ²	n. s.	+18 à +22 °C (jusqu'à +10 à +35 °C)	
	MMZ T	Pont	2 100 mm, 4 400 mm, 1 600 mm	2 427 mm, 4 680 mm, 1 995 mm	(2,2 + L/400) µm	n. s.	520 mm/s	520 mm/s ²	10 000 kg	+18 à +22 °C (jusqu'à +10 à +35 °C)	
	+ Infos complémentaires : Machine automatique et manuelle, capteurs tactile et optique, 7 933 x 9 100 x 4 407 mm et 18 000 kg (G), 4 132 x 7 962 x 5 779 mm et 11 988 kg (M), 3 110 x 6 360 x 5 621 mm et 16 250 kg (T)...										
Prismo fortis	Pont	1 200 mm, 1 800 mm, 1 000 mm	1 416 mm, 2 420 mm, 1 420 mm	(0,7 + L/400) µm	n. s.	520 mm/s	1 380 mm/s ²	2 000 kg	+15 à +40 °C		
+ Infos complémentaires : Machine automatique et manuelle, capteurs tactile et optique, 2 050 x 2 940 x 3 720 mm et 6 540 kg...											

n. s. : non spécifié

(1) Hexagon Manufacturing Intelligence propose également des systèmes de palpage embarqués sur machine-outils, des scanners 3D, des laser trackers, etc.

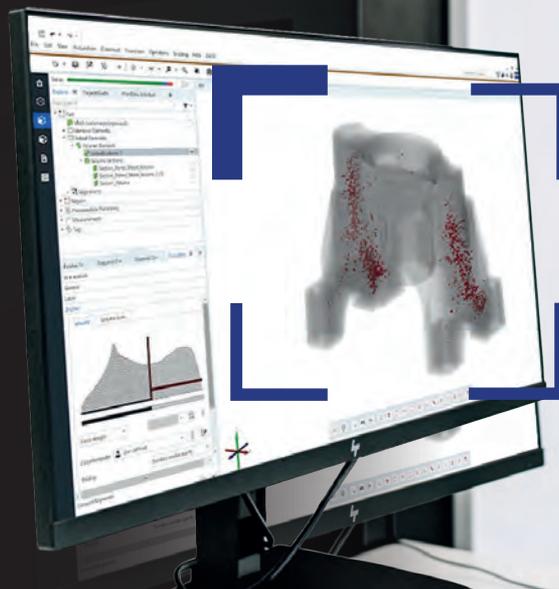
(2) Répétabilité

(3) Incertitude de comparaison

Il existe d'autres fabricants qui proposent des MMT à bras horizontal, des MMT portables, des bras de mesure, des scanners laser et/ou des laser trackers : API Metrology, Creaform (groupe Ametek), Faro Technologies, Innovalia Metrology, OGP, Trimos...

Tomographie à rayons X

Rendez visible l'invisible.



ZEISS

La tomographie à rayons X permet en seul scan de capturer, analyser, mesurer et inspecter les structures internes des pièces industrielles, rapidement et de manière non destructive. **Qu'il s'agisse d'investir dans un tomographe à rayons X ou de sous-traiter le scan de vos pièces, ZEISS vous accompagne dans votre process qualité de A à Z.**

Pour en savoir plus : zeiss.fr/metrologie

