



HAL
open science

ESTIMATION ET CORRECTION DES ERREURS SYSTEMATIQUES D'UN SYSTEME DE MESURE 3D ASSOCIANT SCANNER NAPPE LASER ET MMT

Jean François Fontaine, Ahmed Isheil, David Joannic

► **To cite this version:**

Jean François Fontaine, Ahmed Isheil, David Joannic. ESTIMATION ET CORRECTION DES ERREURS SYSTEMATIQUES D'UN SYSTEME DE MESURE 3D ASSOCIANT SCANNER NAPPE LASER ET MMT. Journée Thématique AIP-PRIMECA Mesure 3D sans contact, Jun 2012, CACHAN, France. hal-00824584

HAL Id: hal-00824584

<https://hal.science/hal-00824584>

Submitted on 22 May 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ESTIMATION ET CORRECTION DES ERREURS SYSTEMATIQUES D'UN SYSTEME DE MESURE 3D ASSOCIANT SCANNER NAPPE LASER ET MMT

J.-F. Fontaine, A. Isheil, D. Joannic,

Laboratoire d'Electronique, Informatique et Image, Université de Bourgogne, Route des Plaines de l'Yonne, 89 000 Auxerre, France

Résumé:

Les techniques de mesure sans contact par scanning laser permettent d'acquérir un grand nombre de points, à une cadence très rapide. Elles sont de plus en plus utilisées pour des applications industrielles telles que la rétro-conception, le contrôle de forme,... Toutefois, les incertitudes de mesures sont plus importantes que celles obtenues par les techniques classiques de mesure par contact. Nous proposons une procédure de correction des erreurs systématiques basée sur démarche expérimentale et qui concerne la mesure de pièces présentant une surface mate (peu de présence de bruit spéculaire). Les paramètres retenus dans la procédure sont les paramètres de positionnement du capteur par rapport à la surface de l'objet mesuré: distance, angles d'incidence et ortho-incidence du plan laser. La procédure de correction est appliquée à plusieurs pièces « types » composées de plans ou présentant des surfaces gauches. Les résultats obtenus sont comparés à ceux obtenus avec une procédure classique de mesure avec capteur à contact considérée comme référence. Les erreurs par rapport à la mesure réputée vraie sont réduites et la méthode proposée améliore la performance du système.

1. Introduction

Depuis plusieurs années, les technologies de mesure à base de capteurs sans contact ont été développées. Ces capteurs permettent d'acquérir des points à une grande cadence (plusieurs dizaines de milliers de points par seconde) ce qui est sans commune mesure avec l'acquisition par palpé. Par contre, ces capteurs actuellement présents sur le marché n'ont pas encore la performance des techniques de mesure par contact (M.M.T). D'une manière générale les erreurs annoncées pour mesurer le rayon d'une sphère de quelques dizaines de millimètres sont de l'ordre de $50 \mu\text{m}$ à $\pm 3\sigma$ en tenant compte des erreurs de ré-orientation du capteur. Les propriétés de mesure dépendent fortement de paramètres tels que la nature du matériau constituant le produit, l'état de surface, la luminosité ambiante,... Pour pouvoir employer ces nouvelles techniques dans le cadre de métrologie des pièces mécaniques, il est donc nécessaire de mieux maîtriser et d'améliorer leurs caractéristiques métrologiques.

Nous présentons ici l'étude et l'évaluation expérimentale de l'influence de certains paramètres de numérisation sur la précision de la mesure sans contact avec l'objectif de corriger les erreurs systématiques liées à ces paramètres. Nous appliquons ensuite cette correction à la mesure d'une pièce type et comparons les résultats à ceux obtenus par une technique de mesure par contact, considérée ici comme référence.

2. Dispositif de mesure

2.1. principe de mesure

Le dispositif de mesure considéré ici est composé d'un capteur laser LC50 (Metris), dont le champ de vue est un carré de 50 mm par 50 mm. Il s'agit d'un capteur à nappe laser, basé sur le principe de la triangulation laser. Ce capteur est installé sur l'axe Z d'une M.M.T. par l'intermédiaire d'une tête rotative motorisée (Renishaw PH10) disposant ainsi de cinq degrés de liberté, respectivement trois translations (suivant les axes X, Y et Z) et deux rotations (autour des axes Y et Z).

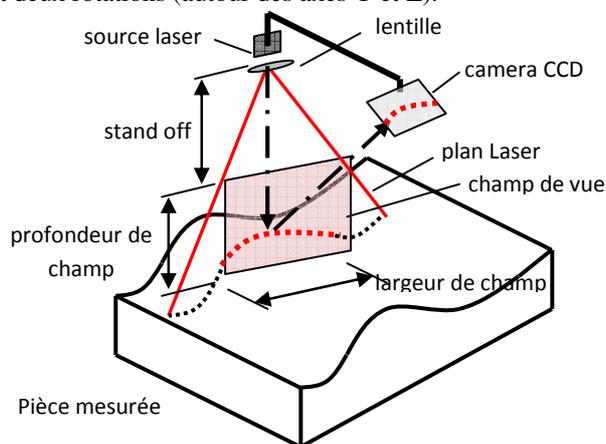


Fig. 1. Schéma de principe du capteur laser sans contact à nappe plane.

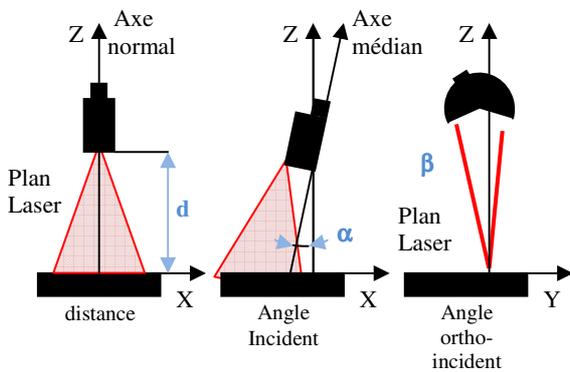
2.2. Incertitudes de mesure

Les incertitudes peuvent avoir comme origine le capteur lui-même, la chaîne de mesure complète ou encore la pièce mesurée [1].

Les incertitudes dues au capteur sont de deux types : intrinsèques ou extrinsèques. Les premières sont partiellement déterminées et corrigées lors de la phase de calibration du capteur, les secondes se décomposent essentiellement entre la mise en position du capteur sur la machine d'une part, et des incertitudes externes d'autre part. Au nombre de ces dernières, on peut citer la distance et l'orientation de la surface numérisée par rapport au capteur, l'incertitude liée aux déplacements des axes de la M.M.T (déplacement du capteur laser lors de la phase de numérisation), la nature du matériau constituant la pièce, son état de surface, ou encore l'incertitude liée au traitement informatique des données...

Ces incertitudes sont plus ou moins bien maîtrisées et peuvent être prises partiellement en compte par les procédures de calibrage, par exemple : compensation de la vitesse de déplacement du capteur, régulation de l'intensité du faisceau laser,... Toutefois, la mesure s'effectuant à distance, il n'est généralement pas tenu compte de la

position et de l'orientation du capteur par rapport à la surface mesurée dans ces procédures. C'est pourquoi, nous nous intéressons à l'influence des paramètres de positionnement d et d'orientation α et β du capteur, (figure 2) sur la qualité de la mesure :



Direction de Scanning = Y

Fig. 2. Paramètres géométriques

d représente la distance entre le capteur et la surface de la pièce, mesurée suivant l'axe Z ; α caractérise l'angle d'incidence (dans le plan de scanning) entre l'axe médian du plan laser et la normale à la surface de la pièce et β caractérise l'angle d'ortho-incidence ou projeté (dans le plan perpendiculaire au plan de scanning) entre l'axe du capteur et la normale à la surface de la pièce.

Les variations de ces trois paramètres font intervenir des zones différentes du champ de vue du capteur et ont par conséquent une influence sur les erreurs de mesure. La prise en compte et la correction de ces erreurs induites peuvent s'envisager de deux manières : soit en élaborant un modèle théorique qui serait pris en compte dans la phase de calibrage, soit en élaborant un modèle expérimental direct de correction des erreurs systématiques de mesure.

La phase de calibrage généralement mise en œuvre permet de déterminer les paramètres géométriques globaux nécessaires au calcul de la triangulation laser. Le modèle communément utilisé est linéaire et basé sur le modèle du sténopé [2]. Ce modèle généralement utilisé par les constructeurs de matériel est restreint et ne prend pas en compte les défauts de montage de l'optique qui provoquent des distorsions sur le capteur C.C.D, ou encore les défauts du plan laser qui présentent généralement une courbure [3]. Le problème de calibrage étudié ici reste toutefois délicat et fait appel à des modèles complexes qu'il est souvent difficile d'identifier. Nous avons choisi d'aborder le problème par une autre démarche. Celle-ci est basée sur l'élaboration d'un modèle expérimental de correction spécifique

3. Evaluation expérimentale des erreurs

3.1. Précédentes études

Ces dernières années, plusieurs travaux ont concerné l'évaluation expérimentale des erreurs de mesures des dispositifs sans contact. Prieto a déterminé un modèle d'erreur qualifié de modèle bruit basé sur la répétabilité des trois paramètres géométriques d , α et β [4]. Toutefois, son

étude a été menée avec des positions statiques de mesure, ce qui ne correspond pas aux conditions réelles de fonctionnement. Feng et Liu ont également étudié l'influence de la distance d et de l'angle projeté β sur la mesure de la distance d d'un plan au centre d'une sphère [5]. Dans ce cadre, la notion de point n'existe plus, l'élément physique mesuré étant une surface plane. La mesure et la correction sont alors effectuées normalement à cette surface. Ils ont établi une procédure de correction basée sur un modèle analytique qui fait l'hypothèse de linéarité par rapport à la distance d et appliquent leur modèle à la mesure du rayon d'une sphère en effectuant une correction suivant le plan du laser.

3.2. Elaboration d'un modèle global

3.2.1 Montage expérimental

Nous reprenons ici le même montage expérimental que celui utilisé par Feng et Liu, en considérant l'influence de l'angle α [6]. Le montage est constitué d'une cale en céramique et d'une sphère de référence, également en céramique (figure 3). Les deux surfaces sont plutôt mates et possèdent donc des caractéristiques de surfaces lambertiennes. Le défaut de planéité du plan supérieur de la cale est inférieur à $3 \mu\text{m}$ et le défaut de forme de la sphère est inférieur à $1 \mu\text{m}$.

La distance D_0 entre la face supérieure de la cale céramique par rapport au centre de la sphère de référence a été initialement mesurée par palpage mécanique sur la M.M.T. Ensuite, pour différentes valeurs des trois paramètres d , α et β , la cale en céramique et la sphère de référence sont toujours numérisées simultanément sans déplacement relatif. Les points correspondant respectivement à la sphère et à la cale céramique sont alors séparés numériquement et la méthode des moindres carrés est appliquée pour déterminer les coordonnées du centre de la sphère de référence ainsi que l'équation du plan supérieur de la cale céramique. Après élimination des points aberrants, la distance D entre le plan calculé et le centre calculé de la sphère est déterminée. On définit, pour chaque essai, l'écart e_i , différence entre la distance de référence D_0 et la distance mesurée D_i : $e_i(d, \alpha, \beta) = D_0 - D_i$

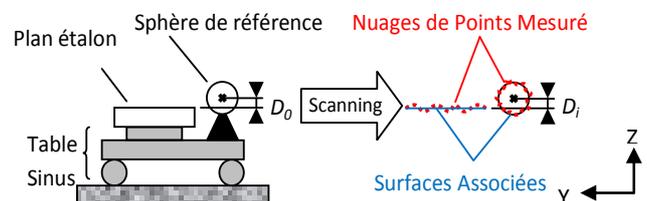


Fig. 3. Montage expérimental.

Un plan d'expérience 7^3 a été effectué [7], le paramètre « distance d » variant entre 109 et 148 mm, le paramètre « angle α » variant entre 0 et $+45^\circ$ et le capteur étant incliné suivant l'axe Y de la M.M.T (tête PH10), enfin le paramètre « angle β » variant entre -45 et $+30^\circ$, la pièce étant inclinée suivant l'axe X de la M.M.T (table sinus de classe 2).

Au total donc, trois cent quarante trois positions ont été testées, et pour chaque valeur du triplet (d, α, β) , la

moyenne des cinq mesures a été calculée. Elle représente l'erreur systématique due au capteur, et l'écart-type élargi – noté δ_e – représente l'erreur aléatoire due au capteur.

3.2.2. Résultats

Les cartographies des erreurs permettent d'identifier les combinaisons des paramètres correspondant aux conditions de mesures les plus répétables (écart-type le plus faible) qui pourront faire l'objet d'une correction. L'analyse des résultats indique que l'effet sur l'erreur systématique e des paramètres d et α est inférieur à $5 \mu\text{m}$, l'effet de β est plus important et peut atteindre $18 \mu\text{m}$ lorsque β tend vers $+30^\circ$. L'erreur aléatoire (écart-type élargi δ_e) due au capteur reste faible en général pour l'ensemble des mesures par rapport à l'erreur systématique ($\delta_e < 5 \mu\text{m}$). Pour certaines configurations, correspondant à une position du montage pour laquelle la cale et la sphère céramique se trouvent en limite du champ de vue du capteur laser, elle atteint $30 \mu\text{m}$. Il est donc raisonnable de proposer un modèle de correction évitant de considérer les quelques positions extrêmes pour lesquelles l'erreur aléatoire est de l'ordre de l'erreur systématique voire supérieure.

3.2.3. Procédure de correction d'un point mesuré

La fonction de correction F_c utilisée est construite à partir des écarts e (d , α , β). On peut l'écrire sous forme matricielle, de la manière suivante :

$$F_c(d, \alpha, \beta) = M + [E_d].[d] + [E_{d\alpha}].[\alpha] \\ + [E_{\beta}].[\beta] + [d]^T.[E_{d\alpha}].[\alpha] \\ + [d]^T.[I_{d\beta}].[\beta] + [\alpha]^T.[E_{\alpha\beta}].[\beta]$$

où M représente la moyenne de tous les écarts, $[d]$, $[\alpha]$ et $[\beta]$ représentent trois vecteurs colonnes $[7 \times 1]$ exprimés dans la base des valeurs expérimentales, $[E_d]$, $[E_{\alpha}]$ et $[E_{\beta}]$ représentent les trois matrices $[1 \times 7]$ de l'effet de chaque facteur par rapport à la moyenne M , $[I_{d\alpha}]$, $[I_{d\beta}]$ et $[E_{\alpha\beta}]$ représentent les trois matrices $[7 \times 7]$ de l'effet des interactions entre chaque facteur par rapport à la moyenne M .

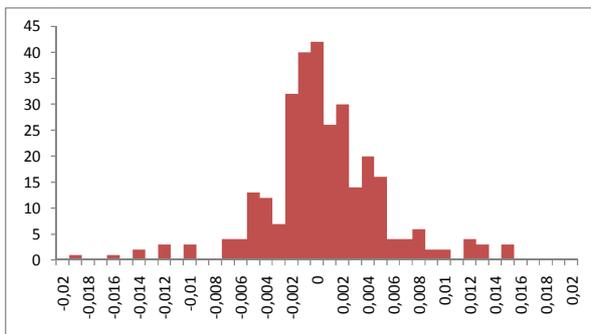


Fig. 4: Répartition des valeurs résiduelles de F_c (mm)

Les résidus calculés à partir de la différence entre les résultats de mesures et la valeur de la fonction F_c pour l'ensemble des configurations des paramètres restent de l'ordre des erreurs aléatoires. Pour les quelques positions où la dispersion est importante la correction ne sera alors pas applicable (voir figure 4)

La fonction F_c permet d'estimer par interpolation la correction à apporter à un point enregistré, normalement à la surface mesurée, quelle que soit la position de mesure.

3.2.3.1. Correction globale d'un plan

La fonction erreur F_c peut être directement utilisée lorsque les paramètres de mesure sont constants pour la surface considérée. Il ne peut s'agir donc que lorsque l'on mesure un plan avec une distance et une incidence constantes. Le nuage de points obtenus est donc segmenté, chaque partie, associée à un plan théorique par la méthode des moindres carrés, peut ensuite être corrigée suivant sa normale en fonction de la valeur de la fonction F_c . L'exemple suivant donne un aperçu de la démarche. La pièce pyramidale tronquée (voir figure 5) proposée par Contri [8] permet de mesurer la distance entre deux points, sans changer l'orientation du capteur. Il s'agit en outre d'une pièce « parfaitement » symétrique permettant, en un seul scan, de matérialiser l'influence des trois paramètres. Cette pièce a été réalisée ici en médium, matériau qui présente une surface mate appropriée à la mesure laser. La pièce est installée sur le marbre de la M.M.T, les faces parallèles aux axes de déplacement de la machine. Lors de la numérisation, le déplacement du capteur s'effectue suivant l'axe Y de la M.M.T, à Z constant (parallèlement au plan ①).

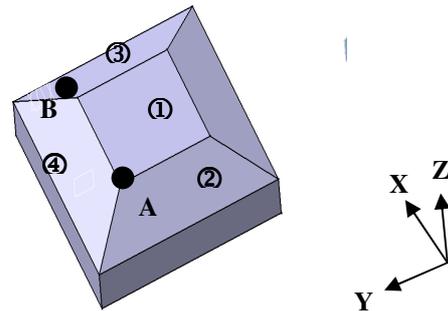


Fig. 5. Pièce pyramide tronquée.

Le but du test est de comparer la distance AB avant et après correction. Le déroulement est alors le suivant: numérisation de la pièce, puis segmentation numérique du nuage de points en quatre nuages élémentaires (d'environ 15 000 points chacun) correspondant aux quatre plans ①, ②, ③ et ④ (figure 6). La méthode des moindres carrés est ensuite utilisée pour calculer l'équation de chacun des plans. La fonction de correction F_c est ensuite appliquée. Les intersections des quatre plans ①, ②, ③ et ④ définissent les points A et B de la figure 6, et permettent la mesure de la distance AB.

Une mesure de ces mêmes plans grâce à un capteur dynamique à déclenchement permet d'indiquer la pertinence de la méthode. Le tableau 1 montre que la méthode est efficace puisque la distance mesurée après correction est très proche de la valeur de référence et présente une dispersion plus faible. Cette utilisation reste toutefois très limitative car lors d'une mesure, on se place rarement dans des conditions similaires. Nous avons donc élaboré une approche de correction locale applicable à n'importe quelle surface.

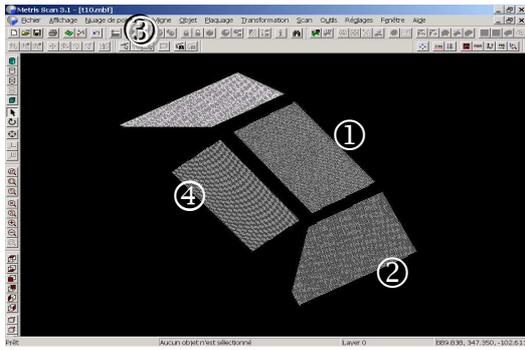


Fig. 6. Segmentation des plans

Procédé de mesure	Capteur à contact	Scanner laser sans correction	Scanner laser avec correction
Nb points par plan	1000	20 000	20 000
d_{AB} (mm)	49.863	49.910	49.860
$\sigma_{d_{AB}}$ (μm)	6.5	4.5	4.3

Tableau 1: Moyenne et écart-type de la distance AB

3.2.3.2. Correction locale d'une surface plane ou gauche

La correction locale consiste à corriger la position des points du nuage en fonction des valeurs des paramètres de mesure (d , α et β). La méthode utilisée est la suivante. Après numérisation de la pièce, un modèle surfacique de type STL est construit à partir des points de mesure. Le centre de gravité de chaque facette est calculé ainsi que la normale à chaque facette (voir figure 7).

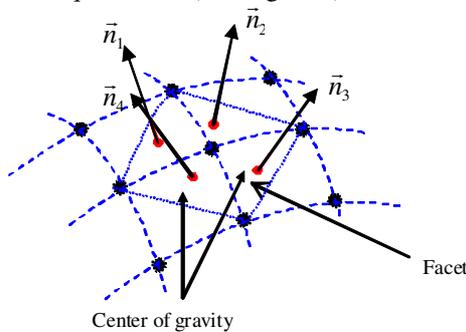


Fig. 7. Maillage en facette triangulaire.

Ce sont les centres de gravité qui font l'objet de la correction. La position de ceux-ci dans l'espace de la MMT ainsi que la connaissance de la normale à la facette sont les éléments nécessaires et suffisants au calcul des paramètres d , α et β . Le centre de gravité de la facette est alors corrigé par un déplacement suivant la normale de la valeur donnée par la fonction F_c qui dépend des paramètres d , α et β .

3.2.3.2.1. Application à la pièce Triplan

Contrairement à l'exemple du paragraphe 3.2.3.1, le paramètre d varie pour un même plan et les angles d'incidence restent constants durant la mesure. Après mesure et segmentation du nuage de points, la normale locale est calculée et les paramètres locaux (d , α et β) sont

déterminés par connaissance de la position relative du capteur par rapport au point considéré, et la correction avec la fonction F_c est appliquée suivant la normale locale. Cette procédure a été testée pour sept positions différentes (P1 à P7: distances entre le capteur et le plan ① de la pièce), et la mesure a été effectuée dix fois pour chaque position. Les moyennes m_{AB} et écart-types σ_{AB} des distances AB mesurées avec ou sans correction sont données sur le graphique de la figure 8. Cette application montre que notre procédure de correction permet effectivement de se rapprocher de la distance mesurée par palpation mécanique, toutefois l'écart-type du résultat augmente.

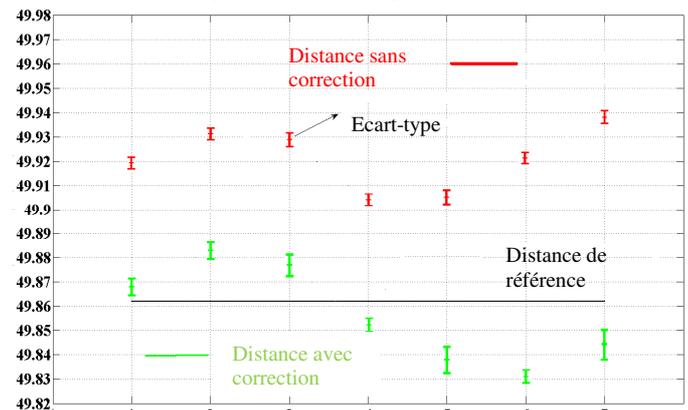


Fig 8: Moyenne et écart-type des distances comparées à la valeur de référence avec ou sans correction (en mm)

3.2.3.2.2. Application à une surface gauche de type sphérique

La procédure de correction a ensuite été testée sur une sphère étalon de surface mate (sphère de qualification du capteur, rayon 15.0129 mm). Dans cette application, la compensation en chaque point doit tenir compte de la variation des trois paramètres d , α et β . Pour vérifier l'efficacité de la procédure, nous comparons le rayon R de la sphère avant et après correction. La numérisation génère un nuage de points correspondant à la calotte supérieure de la sphère (environ 4 000 points). La correction est ensuite appliquée à la surface obtenue par triangulation du nuage de points. Puis le rayon de la sphère est ensuite obtenu par la méthode des moindres carrés, appliquée aux nœuds du maillage. La procédure a également été testée pour cinq positions différentes (P1 à P5, distances entre le capteur et le centre de la sphère), la mesure a été effectuée dix fois pour chaque position.

Les moyennes et écart-types des rayons R mesurés avec ou sans correction sont représentés sur la figure 9. Ce cas d'application surface gauche pour laquelle les paramètres de mesure changent constamment localement montre aussi l'amélioration apportée par le modèle de correction sur la détermination du rayon de la sphère. Toutefois on remarque là encore que l'écart-type de la valeur corrigée mesurée augmente.

Deux principales causes peuvent être à l'origine de ce phénomène: le traitement numérique du à la correction est sensible au bruit de mesure, la fonction de correction n'est pas adaptée à l'application. En ce qui concerne la sensibilité du traitement numérique au bruit de numérisation la dispersion des normales calculées n'excède pas 0.1 degré ce qui induit une incertitude relative sur la correction de

l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ mm. La deuxième cause est donc plus influente. En fait l'utilisation du modèle pour des corrections localisées n'est pas bien adaptée. En effet, une étude plus précise de la réponse du capteur montre que l'erreur n'est pas constante sur l'ensemble du champ de vue. Pour caractériser cette erreur, nous avons effectué des mesures d'une ligne de scan en parcourant le champ de vue sans déplacer le capteur.

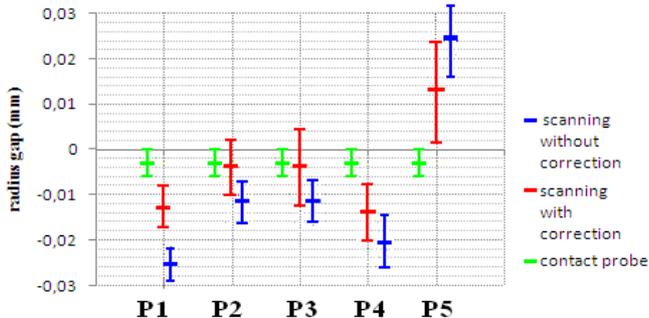


Fig.9 : Ecarts moyen par rapport à la valeur de référence du rayon de la sphère (en mm) pour les différentes positions du scanner

La figure 10 montre le dispositif expérimental utilisé. La procédure est la suivante : après avoir dégauchi le capteur par rapport à l'axe de la MMT, la trace du plan laser sur une cale étalon de référence est enregistrée. La cale étalon est déplacée le long du champ de vue tout en restant horizontale.

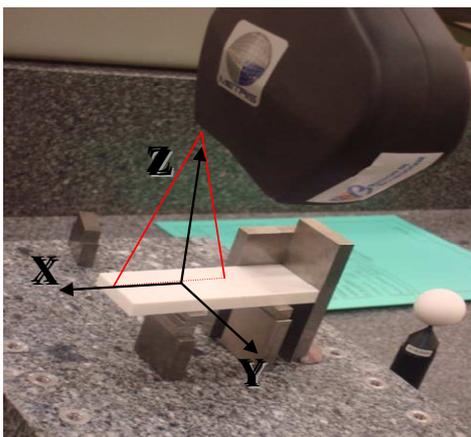


Fig 10 : dispositif de caractérisation de la réponse du capteur suivant la localisation dans le champ de vue

Chaque ligne de scanning obtenue est ensuite projetée suivant le plan vertical (XZ) et suivant le plan horizontal (XY) de cette manière on sépare le défaut de forme du plan et le défaut dû à la réflexion du laser. Le premier est assez faible (inférieur) à 1 micromètre, le second est beaucoup plus important puisqu'il peut atteindre 0,05mm. Le plan laser peut donc être considéré de bonne qualité et la cause des dispersions du modèle précédent due à la réflexion du laser. En effet celle-ci n'est pas constante suivant une ligne de scan et du fait de la variation locale de l'incidence des biais se produisent. C'est pourquoi un modèle d'erreur local est proposé.

3.3. Elaboration d'un modèle local

La procédure expérimentale proposée est globalement similaire à la précédente, la différence provient

du traitement des mesures. Le champ de vue du capteur est divisé en 500 micro- champs de vue de largeur 1 mm et de hauteur 5 mm. Le nuage de points de mesure de la cale étalon de référence est divisé en micro-plans comme l'indique la figure 11.

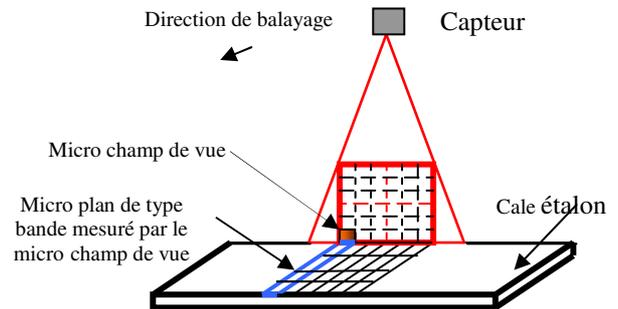


Fig 11: Schéma du dispositif pour l'élaboration du modèle local

Pour chaque bande de nuage de points, la moyenne et l'écart type des distances perpendiculaires entre les points et le micro-plan associé aux moindres carrés sont calculés. Un plan moyen est aussi associé à l'ensemble du nuage de points autrement dit à l'ensemble des micro-plans. La mesure simultanée d'une sphère fixe par rapport à la cale étalon comme précédemment permet d'avoir une mesure référencée par rapport à son centre. Ceci permet d'établir un modèle d'erreurs locales. La figure 12 montre pour 3 niveaux du champ de vue (haut, milieu et bas) l'erreur obtenue. On remarque qu'elle n'est pas constante pour un même niveau et qu'elle est très accentuée au milieu du champ de vue. Ceci s'explique par la variation locale de l'incidence du rayon. En effet, on peut penser que l'intensité reçue par le capteur CCD est plus importante que sur ses extrémités ce qui provoque un biais important au centre de la ligne.

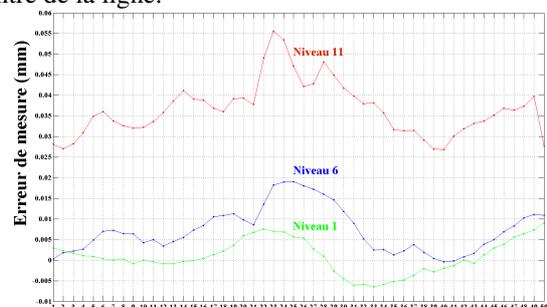


Fig 12: Erreur locale en haut, au milieu et en bas du champ de vue.

La figure 13 montre pour l'ensemble du champ de vue l'erreur locale absolue pour des angles α et β nuls.

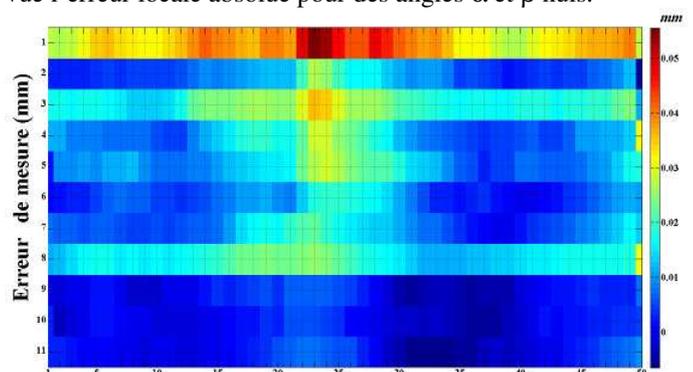


Fig ; 13 : Carte des erreurs locales sur l'ensemble du champ de vue pour $\alpha=0$ et $\beta=0$

On remarque que l'erreur est plus importante au centre mais aussi pour le niveau 11 c'est-à-dire lorsque le capteur s'éloigne de la pièce. Dans le cadre de cette étude, seul le paramètre distance d a été pris en compte. Nous avons appliqué le même principe de correction que celui exposé précédemment à un exemple concret de pièce mécanique schématisée sur la figure 14

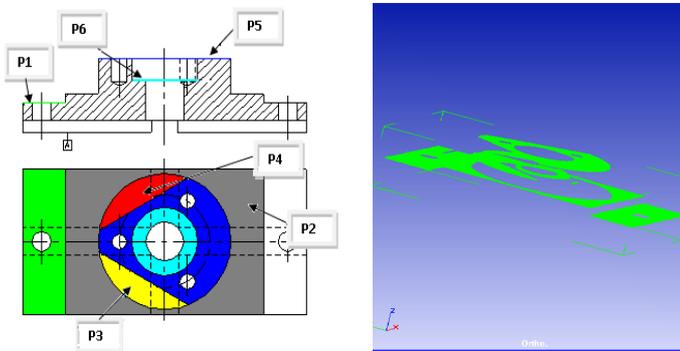


Fig 14. Pièce de test du modèle de correction (à gauche) nuage de points de mesure de l'ensemble de la pièce (à droite)

Les plans considérés sont parallèles et situés à des positions différentes dans la largeur du champ de vue. Leur mesure est effectuée avec l'axe du capteur dirigé suivant la normale à l'ensemble des plans. La mesure de chaque plan a été effectuée par scan et à l'aide d'un capteur à contact. Elle a été répétée 5 fois. Le graphique donné sur la figure 15 en haut montre les résultats de la mesure d'un mesurande distance entre les mesures par scanning et par contact avec ou sans application de la correction. Le mesurande « distance » est défini par la distance du point représenté par la projection du centre de gravité du nuage de points sur le plan associé avec le plan théorique de référence donné par la mesure avec contact. On remarque que l'application du modèle local permet de réduire les écarts par rapport à une mesure non corrigée ainsi que par rapport au modèle global. Le graphique de la figure 15 en bas montre que la correction locale contrairement à la correction globale, n'augmente pas la dispersion des mesures, celles-ci étant équivalentes aux résultats non corrigés.

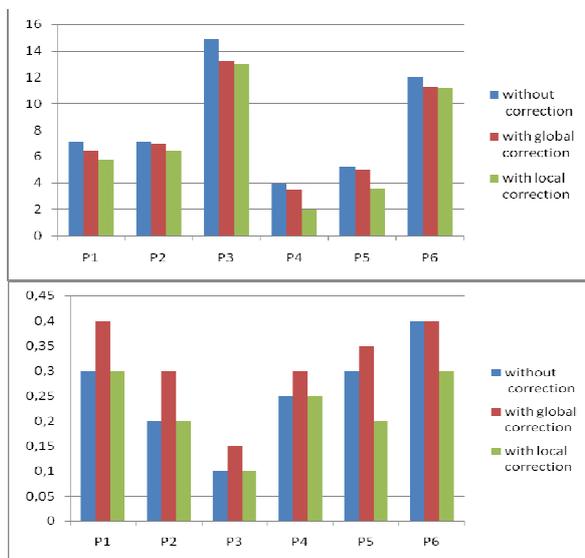


Fig 15: comparaison des moyennes (en haut) et écart-types (en bas) du mesurande distance (10^{-2} mm) sans correction et avec correction globale et locale

4, Conclusion

Dans cette étude article, une évaluation expérimentale des paramètres influents sur la mesure par capteur laser sans contact a été présentée. L'influence des trois paramètres géométriques de positionnement du capteur par rapport à la pièce mesurée a été étudiée : la distance d , l'angle d'incidence α et l'angle projeté β . Un modèle de correction de chaque point mesuré a été établi. Cette procédure de correction a ensuite été testée sur une pyramide tronquée et sur une sphère étalon. La correction apportée à la mesure est plus ou moins significative, selon les conditions de mesures, mais dans tous les cas, nous constatons une amélioration du résultat: la mesure après correction est toujours plus proche de la valeur de référence, toutefois on constate une dispersion plus importante du résultat. Celle-ci provient de la variation de l'intensité lumineuse le long de la ligne scannée. Un modèle de correction local dépendant de la distance d a été alors élaboré. Il permet d'apporter une correction supplémentaire dépendant de la position du pixel dans le champ de vue. Cette correction améliore les résultats obtenus après correction sans augmenter la dispersion des mesures. Ce modèle peut facilement être élargi à la prise en compte de l'influence des angles d'incidence. Toutefois, pour obtenir une correction optimale sur des pièces industrielles, il est nécessaire de prendre en compte l'influence d'autres paramètres tels que la nature de la surface (conductivité, réflectivité...) ou encore l'état de surface (phénomène de Speckle [9]), ce qui est de plus en plus intégré par les constructeurs de matériels aujourd'hui.

Références bibliographiques

- [1] Linares JM, Bourdet P, Sprauel JM, Quality measurement on CMM integrated design and manufacturing in mechanical engineering, IDMME'2000, Kluwer Ac. Pub. (2002), pp 219-226
- [2] Horaud R, Vision par ordinateur, Ed Hermès, (1995)
- [3] Dantan JY, Rey R, Bourdet P, Calibrating the geometric position of a plane laser beam visio-sensor in a measuring system, Proc, Mecatronic's 96, 233-238, Besançon, France (1996)
- [4] Prieto F, Métrologie assistée par ordinateur : apport des capteurs 3D sans contact, Thèse de doctorat, INSA Lyon, France (1999)
- [5] Xi F, Liu Y, Feng HY, Error compensation for three-dimensional line laser scanning data, International Journal of Adv Man. Tech. (2001) 18:211-216
- [6] Fontaine JF, Gonnet JP, Isheil A, Joannic D, Parameters analysis influencing 3D measurement without contact by laser scanner to make a compensation model, CIRP CAT, 9th Seminar, Tempe (2005),
- [7] Isheil A., Gonnet J.-P., Joannic D., Fontaine J.-F., Systematic Error Correction of a 3D Laser Scanning Measurement Device, Optics and Lasers in Eng, (2011) Vol 49, 16-24,
- [8] Contri A, Qualité géométrique de la mesure de surfaces complexes par moyens optiques, Thèse de doctorat, ENS Cachan, France (2002)
- [9] Goodman JW, Some fundamental properties of Speckle noise, J. of the Opt. Soc. of Am., (1976), 66-11, 1145-1149