



Étude comparative entre deux logiciels de métrologie tridimensionnelle

Comparative study between two three-dimensional metrology software

Djezouli MOULAI-KHATIR^a

^aUniversité Abou Bekr Belkaid, Département de Génie Electrique et Electronique, Faculté de Technologie, B.P. 230 Tlemcen, 13000, Algérie

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 December 17

Received in revised form 10 February 18

Accepted 18 February 18

Mots clés:

MMT ; défaut de forme ; critère d'ajustement ; planéité

Keywords:

CMM ; form defect ; fitting criterion ; flatness

RÉSUMÉ

Cet article présente une étude comparative entre deux logiciels de métrologie tridimensionnelle, le logiciel Metrosoft de la machine « Métromec » de l'École Nationale Polytechnique d'Oran et le logiciel expérimental Geoverif développé par PAIREL, du Laboratoire SYMME. Les deux logiciels utilisent le critère d'ajustement des moindres carrés, qui est le critère le plus utilisé sur les logiciels de machines à mesurer tridimensionnelles (MMT). Nous présenterons dans ce travail, une application à la mesure du défaut de forme (planéité) d'un palier moteur, suivant trois balancements. Nous présenterons aussi, une stratégie de palpé de telle façon à avoir un nuage de points assez représentatif de la surface réelle de la pièce à contrôler.

ABSTRACT

This article presents a comparative study between two three-dimensional metrology software, the Metrosoft software of the "Metromec" machine of the National Polytechnic School of Oran and the Geoverif experimental software developed by PAIREL, SYMME Laboratory. Both softwares use the least squares fit criterion, which is the most commonly used criterion on Coordinate Measuring Machine (CMM). We will present in this work, an application to measure the defect form (flatness) of an engine bearing, following three swings. We will also present a probing strategy in such a way as to have a cloud of points that is fairly representative of the real surface of the work piece.

1 Introduction

La vérification et le contrôle des défauts de forme connaissent actuellement une très grande importance dans le domaine industriel, car dans bien des cas, la fonctionnalité des assemblages ou des mécanismes peut en dépendre. Le contrôle classique (au marbre) des défauts de forme est entaché d'erreurs. Lors de la mesure de la planéité, le métrologue utilise généralement un marbre sur lequel il pose le socle du comparateur et trois vérins (supports) réglables. Il place les vérins en forme de triangle (pour avoir un plan). Ensuite, il pose la pièce sur les trois vérins. Il met le palpeur du comparateur perpendiculaire et en contact avec la surface à contrôler (S). Puis, il règle les vérins de façon à ce que le comparateur marque "zéro" respectivement en trois points (A, B et C) de la surface (S). Le plan (ABC) est maintenant

* Corresponding author. Tel.: +213 6 62425380.

E-mail address: moulai_khatir@yahoo.fr

parallèle à la surface de référence du marbre, il définit ainsi la surface géométrique idéale. Enfin, il palpe des points au niveau de la surface à contrôler par le palpeur du comparateur en faisant glisser le socle de ce dernier, sur le marbre tout en relevant les écarts de mesure. Les méthodes directes de mesure ne permettent pas de déterminer un défaut de forme de manière objective ce qui ouvre la porte à toute espèce de contestation entre fournisseur et acheteur [1]. Le défaut de forme est la distance maximale entre la surface réelle et une surface théorique en contact avec elle du côté extérieur de la matière. Selon la norme, la surface théorique doit être choisie de manière à minimiser cette distance. En métrologie tridimensionnelle, la détermination de cette surface théorique n'est pas facile. Les normes imposent de nombreux critères et les cas à traiter sont très diversifiés [2].

Dans ce contexte, cet article présente une étude comparative entre deux logiciels de métrologie tridimensionnelle, le logiciel industriel Metrosoft [3] de la machine « Métromec », du Laboratoire de Métrologie, de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran et le logiciel expérimental Geoverif (version de prêt), développé par PAIREL [4-9], du laboratoire SYMME, de l'université de Savoie (France). Les deux logiciels utilisent le critère d'ajustement des moindres carrés, qui est le critère le plus utilisé sur les logiciels de machines à mesurer tridimensionnelles (MMT).

2 Critères d'ajustements en métrologie par coordonnées

2.1 Définitions

- Ajustement d'une surface théorique à une surface réelle

Le métrologue identifie la surface réelle par un nombre limité de points M_i qui doivent être représentatifs de la surface. Pour effectuer les calculs nécessaires à la vérification des spécifications, il faut souvent associer à cet ensemble de points une surface théorique parfaite, de même nature que la surface nominale, qui représente au mieux la surface réelle suivant le critère d'association choisi. Les critères d'ajustements les plus utilisés sont le critère des moindres carrés et le critère de Tchebychev (minimax).

- Convention de définition de l'écart

Par convention, l'écart e_i est mesuré du point M_i palpé à la surface ajustée (associée) suivant la normale n_i orientée vers l'extérieur de la matière (fig. 1).

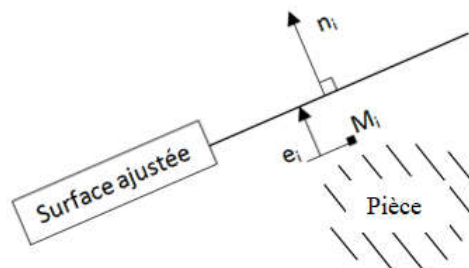


Fig. 1 – Définition de l'écart

2.2 Critère des moindres carrés

C'est la surface telle que la somme S (équation 1) soit minimale, comme représenté par la fig.2.

$$S = \sum e_i^2 \quad (1)$$

C'est un critère très généralement utilisé par les logiciels de métrologie. La surface des moindres carrés passe entre les points palpés. Le plan des moindres carrés passe par le centre de gravité des points [10]. Pour déterminer l'axe d'un cylindre dans une zone projetée et pour définir le centre réel d'une section, on utilise généralement le critère des moindres carrés. Pour avoir une surface « parallèle » à la surface des moindres carrés, qui est tangente à la surface réelle, c'est à dire passant par le point d'écart maxi par rapport à la surface des moindres carrés, le critère des moindres carrés tangent est

utilisé. On peut aussi définir une surface «parallèle» à la surface des moindres carrés décalée de la moitié de l'écart de forme du côté libre de la matière. Elle est donc sensiblement tangente à la surface réelle [2].

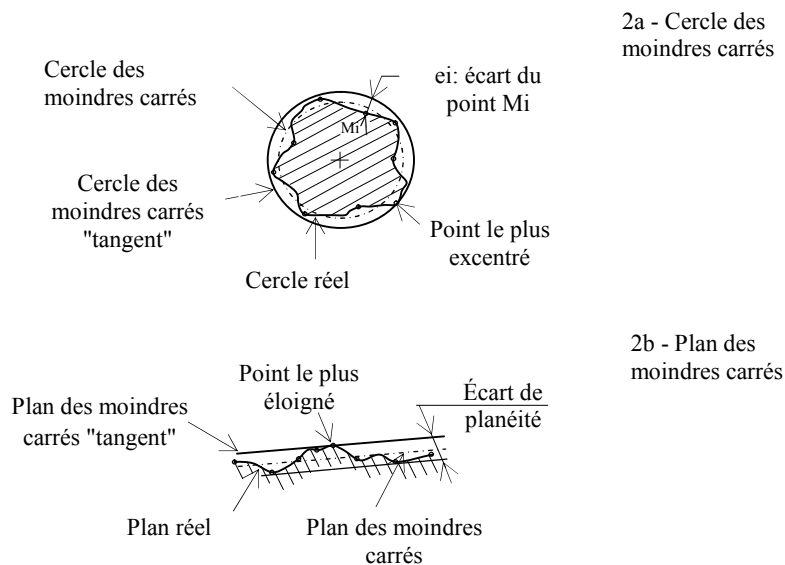


Fig. 2 –Critère des moindres carrés

2.3 Critère de Tchebychev

Ce critère est également nommé «minimax» (Surface tangente qui minimise la distance maxi), équation 2. La norme ISO 5459-2011 [11] définit le plan tangent à la surface réelle, pour associer une référence à un plan, du côté libre de la matière tel que la distance maximale des points de la surface réelle à ce plan soit minimale. Cette distance maximale est l'écart de planéité [12], comme le montre la fig.3. La norme ISO 1101-2015 [13] définit pour l'écart de cylindricité, le cylindre tangent à la surface côté libre de la matière tel que la distance maximale des points de la surface réelle à ce cylindre soit minimale (la définition est similaire pour la circularité)[2].

$$\forall n \in \mathbb{N} \quad P_{n+2} = 2X P_{n+1} - P_n \quad (2)$$

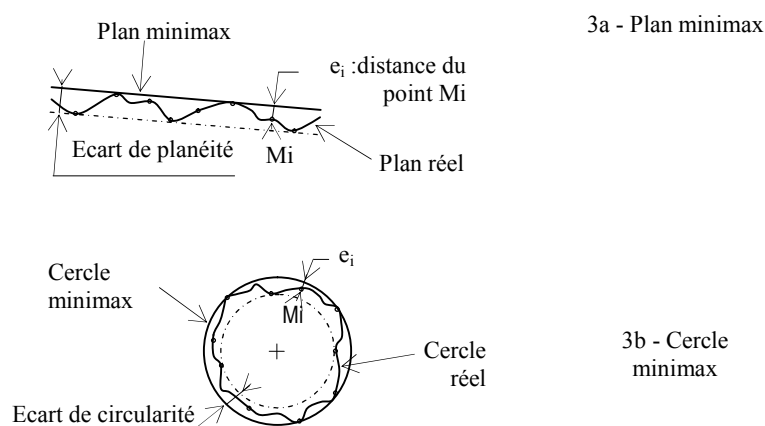


Fig. 3 –Surface tangente qui minimise la distance maxi

3 Méthodologie

Afin de présenter notre méthode, nous utiliserons les résultats de MANGOUCI [3]. Il a pris pour pièce d'essai, un palier moteur usiné sur un tour parallèle conventionnel [3]. Il a utilisé une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT), du Laboratoire de Métrologie, de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran (fig.4), pour avoir le fichier des points palpés.

- Type de palpeur : Palpeur TP2

- Milieu : La machine est située dans un local climatisé, la température est réglée à $20^{\circ}\pm 1^{\circ}\text{C}$.



Fig. 4 –Contrôle de la planéité du palier sur MMT du Laboratoire de Métrologie (ENP d’Oran) [3]

Il a réalisé trois balancements (mesurages), pour avoir une meilleure précision de contrôle. Puis il a mesuré le défaut de forme (planéité) à l’aide du logiciel Metrosoft de la machine. Nous exploiterons ce fichier de points, que nous exporterons dans le logiciel Geoverif [4-9]. A partir des nuages de points prélevés, nous allons mesurer le défaut de planéité du palier moteur suivant le critère des moindres carrés. A titre d’indication, le logiciel Geoverif, implémente ce critère ainsi que deux autres : défaut de forme mini (Tchebychev) et volume minimal.

3.1 Premier et deuxième balancement

Pour le premier et deuxième balancement, la surface à contrôler est parallèle au marbre de la MMT, comme illustré par la figure3. MANGOUCI [3] a posé et fixé la pièce d’essai sur le marbre de la MMT. Il a fait déplacer le capteur manuellement tout en palpant successivement les points désignés (marqués) sur la surface à contrôler.

Le logiciel enregistre les coordonnées correspondant de chaque point palpé. Les coordonnées des points palpés, du premier et du deuxième balancement, sont données au tableau 1 [3].

Tableau 1 Coordonnées des points palpés du premier et du deuxième balancement [3]

No.	premier balancement			deuxième balancement		
	X	Y	Z	X	Y	Z
1	59.7709	-106.2695	-34.1648	-34.3413	59.6105	-106.2685
2	-9.7500	-106.3199	-34.0860	-19.3711	66.5269	-106.2790
3	24.2782	-106.3574	26.0406	-3.2479	65.0134	-106.2980
4	66.3939	-106.2795	-19.1706	11.6768	58.9040	-106.3179
5	65.3739	-106.2970	-2.7694	22.1094	46.2711	-106.3384
6	58.7580	-106.3179	11.9068	28.3696	29.3002	-106.3564
7	46.4881	-106.3379	22.2719	25.9581	24.9967	-106.3589
8	29.8867	-106.3564	29.0196	26.3206	13.5193	-106.3654
9	13.7133	-106.3649	26.3301	18.9351	-1.5036	-106.3684
10	13.9613	-106.3649	26.1806	7.4860	-12.0350	-106.3634

11	-1.4096	-106.3679	18.7166	-8.6617	-17.2159	-106.3504
12	-11.8500	-106.3624	7.0280	-25.4909	-15.3579	-106.3314
13	-16.8314	-106.3499	-8.7102	-33.8210	-10.4845	-106.3199
14	-15.7004	-106.3299	-26.0729	-39.6696	-6.9635	-106.3104
15	-7.8515	-106.3089	-40.6441	-51.1313	4.2849	-106.2880
16	4.2404	-106.2875	-51.4903	-55.3719	19.0963	-106.2745
17	19.1963	-106.2730	-55.6539	-54.4104	35.0741	-106.2645
18	35.2646	-106.2625	-54.9044	-46.5304	51.3215	-106.2610
19	51.3360	-106.2595	-47.0009	-18.4496	53.8625	-106.2999
20	54.1555	-106.2990	-18.3136	3.1417	46.4021	-106.3294
21	47.7706	-106.3274	3.4962	14.5719	27.3817	-106.3549
22	27.5422	-106.3544	15.1459	9.9354	7.9259	-106.3629
23	7.0644	-106.3624	10.0405	-10.2153	-5.0890	-106.3494
24	-4.6215	-106.3489	-10.4812	-31.8670	2.3159	-106.3229
25	1.7444	-106.3219	-32.3215	-43.6973	21.0343	-106.2960
26	21.1468	-106.2950	-43.7723	-37.1723	43.0341	-106.2880
27	43.1166	-106.2875	-37.0668	-34.3413	59.6105	-106.2685

3.2 Troisième balancement

La surface à contrôler est inclinée par rapport au marbre de la MMT, comme représenté par la fig.5. MANGOUCI [3] a posé un coté de la surface inférieure de la pièce sur le marbre de la MMT et l'autre coté sur une cale étalon. Celle-ci est posée sur le marbre. Il a fait déplacer le capteur manuellement tout en palpant successivement les points désignés (marqués) sur la surface de la pièce.



Fig. 5 – Troisième balancement [3]

Le logiciel enregistre les coordonnées correspondant à chaque point palpé (Tableau 2) [3].

Tableau 2 Coordonnées des points palpés du troisième balancement [3]

No.	X	Y	Z
1	-43.9127	63.9802	-104.9632
2	7.3882	19.9268	-87.7934
3	-54.0241	-5.2826	-105.9862
4	-28.6193	68.5892	-100.3804
5	-13.3945	64.6403	-95.5616
6	-0.5071	55.8394	-91.3168
7	7.8411	41.6382	-88.3089
8	11.0513	25.2307	-86.8204
9	6.3063	8.8244	-87.7884
10	-2.9374	-4.5712	-90.2358
11	-16.1071	-13.4558	-94.0322
12	-31.4020	-15.5663	-98.6905
13	-47.2194	-12.0583	-103.6788
14	-59.3682	-1.6885	-107.7441
15	-68.1340	11.4197	-110.8455
16	-69.7321	26.9152	-111.8084
17	-66.6756	42.7765	-111.3460
18	-57.2104	57.3912	-108.8666
19	-29.8913	55.4538	-100.3869
20	-9.8888	46.7497	-93.9487
21	-2.2940	24.4326	-90.9283
22	-10.0356	4.4800	-92.7122
23	-30.9950	-2.9439	-98.9575
24	-50.8580	6.3722	-105.3722
25	-58.4803	27.1968	-108.3546
26	-48.9397	47.5849	-106.0287

27	-68.1340	11.4197	-110.8455
----	----------	---------	-----------

4 Résultats & Discussion

Le tableau 3 montre les résultats du contrôle de la planéité du palier moteur, pour les trois balancements, en utilisant le critère des moindres carrés, par les deux logiciels Metrosoft [3] et Geoverif (version de prêt).

Tableau 3 Résultats du contrôle de la planéité du palier moteur par les logiciels Metrosoft et Geoverif

Balancements	Logiciels	
	Metrosoft	Geoverif
1er	0.0126	0,012601
2ème	0.0131	0,013091
3ème	0.0122	0,012136

La fig.6, illustre le graphe de la comparaison des résultats du contrôle de la planéité du palier moteur, pour les trois balancements, en utilisant les deux logiciels Metrosoft [3] et Geoverif (critère des moindres carrés).

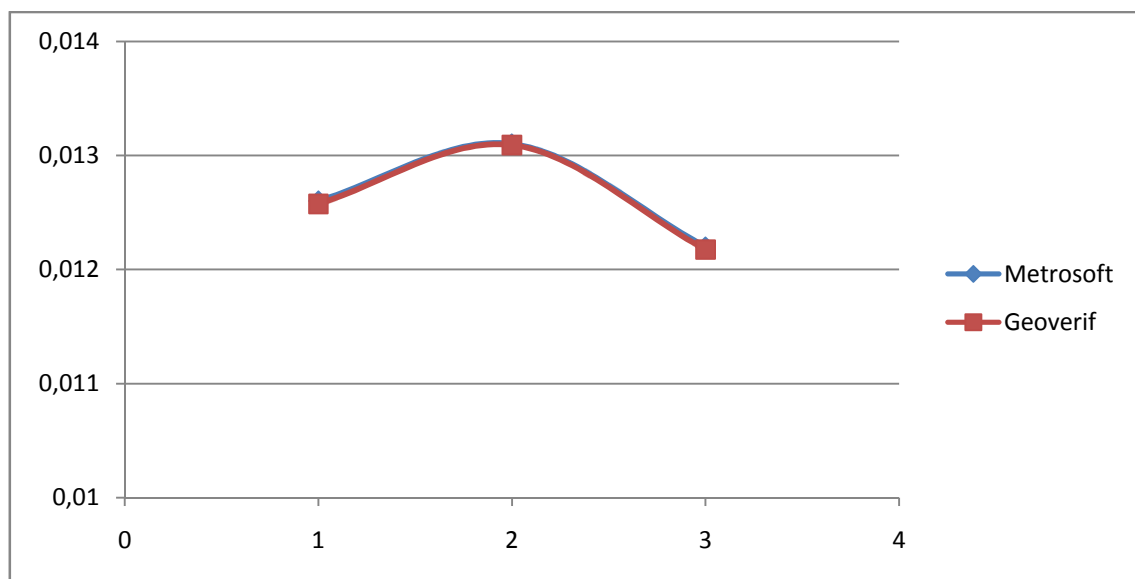


Fig. 6 – Graphe de la comparaison des résultats du contrôle de la planéité par Metrosoft et Geoverif

Le défaut de planéité trouvé par le critère d'ajustement des moindres carrés, en utilisant le logiciel Geoverif est le même que celui trouvé par MANGOUCI en utilisant le logiciel Metrosoft [3], à savoir « 0,013 mm ».

5 Conclusion

Ce travail nous a permis de faire une étude comparative entre deux logiciels de métrologie tridimensionnelle, le logiciel industriel Metrosoft de la machine « Métromec », du Laboratoire de Métrologie, de l'École Nationale Polytechnique d'Oran et le logiciel expérimental Geoverif développé par PAIREL, du laboratoire SYMME, de l'université de Savoie (France). Les résultats de la mesure du défaut de planéité trouvés, en utilisant le critère d'ajustement des moindres carrés, sont identiques entre les deux logiciels, donc les performances du logiciel expérimental Geoverif sont prouvées. Nous préconisons lors de la mesure du défaut de planéité de faire plusieurs balancements (mesurages), au moins deux et d'utiliser une stratégie de palpé (1 point palpé chaque 1/10 de la dimension du côté le plus grand de la pièce), de telle façon à couvrir l'ensemble de la surface et avoir un nuage de points assez représentatif de la surface réelle. Ceci, pour avoir une meilleure précision de contrôle.

En perspectives, nous prévoyons l'extension de notre étude aux autres défauts de forme et notamment le défaut de cylindricité.

[1] References

- [2] J. F. Debongnie, L. Masset, Sur l'évaluation des défauts de forme à partir de mesures tridimensionnelles, *European Journal of Mechanical and Environmental Engineering* V43(1) (1998) pp. 13-21.
- [3] M. Radouani, B. Anselmetti, Identification of real surfaces and inspection of the ISO specifications using a solver, *Mechanic & Industry* 4 (2003) pp. 249-258.
- [4] A. Mangouchi, Exploration des moyens d'association de surfaces aux points palpés sur machine à mesurer tridimensionnelle, Mémoire de magister, université de Tlemcen, Algérie, 2005.
- [5] E. Pairel, Three-dimensional metrology with the virtual fitting gauges, 11th CIRP International Conference on Computer Aided Tolerancing, March, 26-27, Annecy, France, 2009.
- [6] E. Pairel, Three-Dimensional Verification of Geometric Tolerances With the "Fitting Gauge" Model, *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 7(1) (2007) pp. 26-30.
- [7] E. Pairel, P. Hernandez, M. Giordano, Virtual Gauge Representation for Geometric Tolerances in CAD-CAM Systems, in "Models for Computer Aided Tolerancing in Design and Manufacturing (Selected papers from 9th CIRP seminar on CAT)", Springer, J.K. Davidson (Ed.) 2007, pp. 3-12.
- [8] E. Pairel, Présentation d'un logiciel de métrologie tridimensionnelle par calibre virtuel, 12^e congrès international de métrologie, Lyon, France, 20-23 Juin 2005.
- [9] E. Pairel, The "Gauge model": A New Approach for Coordinate Measurement, XIV IMEKO World Congress, Tampere, Finland, 1-6 June, 1997, pp.278-283.
- [10] E. Pairel, Métrologie fonctionnelle par calibre virtuel sur machine à mesurer tridimensionnelle, Thèse de doctorat en Génie mécanique de l'Université de Savoie (France), 1995.
- [11] B. Anselmetti, Manuel de tolérancement: Métrologie avec les normes ISO, Volume 5, Edition Lavoisier, 2011.
- [12] ISO 5459-2011, Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Specified references and specified reference systems.
- [13] M.S. Shunmugam, Important aspects of form measurement and assessment of engineering surfaces, J. Institution of Engineers, India, Part Mc, Mechanical Engineering Division, (2001).
- [14] ISO 1101-2015, Geometrical product specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerances of form, orientation, location and run-out.